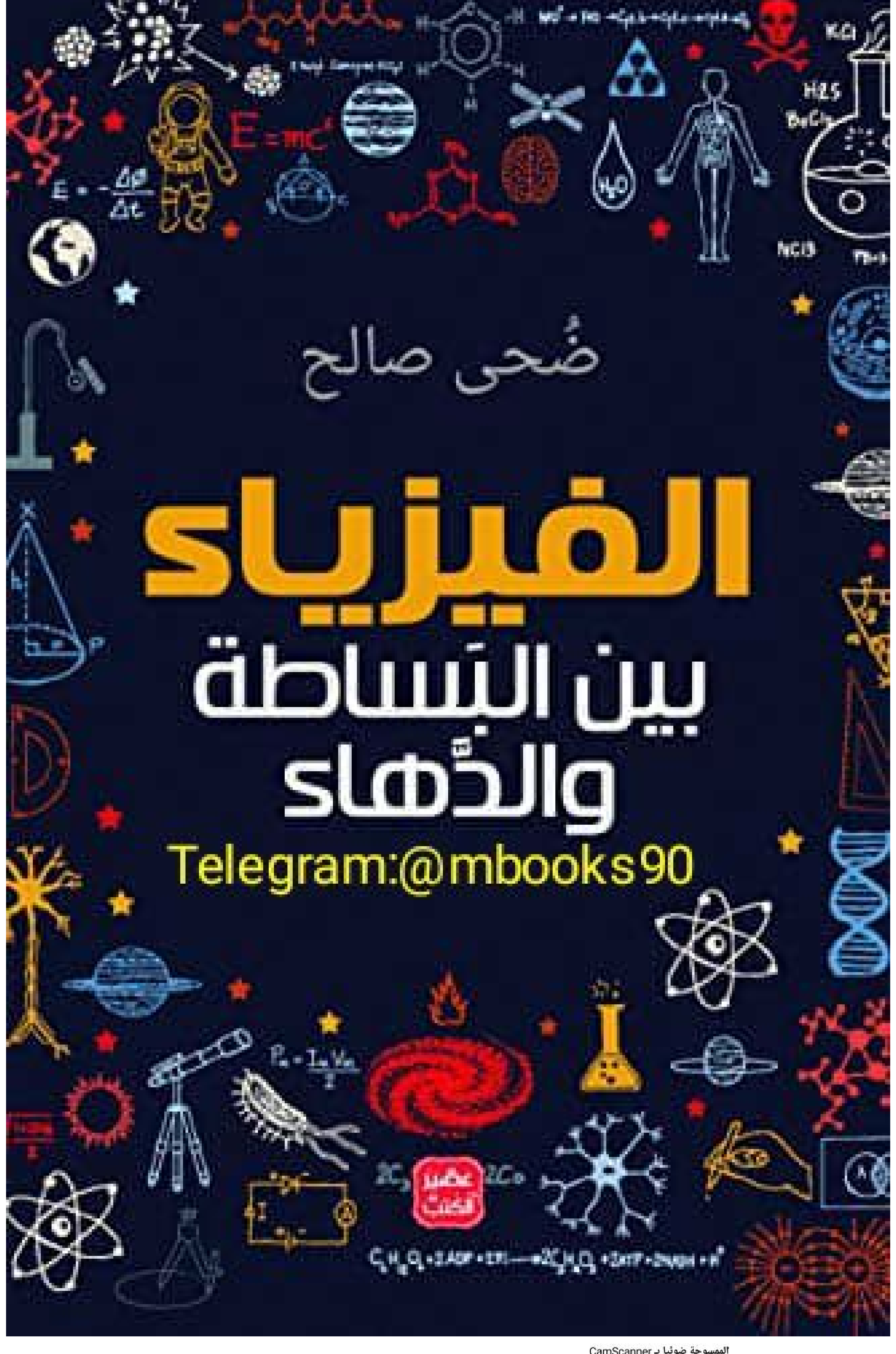

ضُحى صالح
الفيزياء
بين البَساطة
والذّكاء
Telegram:@mbooks90
عصير الكتب

الفيزياء
بين البساطة والدهاء



المقدمة

سنجوب في كتاب «الفيزياء بين البساطة والدهاء» آفاقًا عجيبة في مجال الفيزياء وعِلم الكونيّات، سنتعرف على أبرز نظريات الفيزياء الحديثة والمثيرة للاهتمام لمختلف الأعمار والتخصصات؛ فهذا الكتاب يلائم كلّ شخصٍ مُحبٍّ للعلم والمعرفة وهواة التفكير العلميّ، سواء كان طالبَ مدرسةٍ أو في الجامعة أو هاويًا للفيزياء، ولا يحتاج إلى أي معرفة مُسبقة بقوانين الفيزياء أو الرياضيات المتقدّمة.

قد يبدو الأمر غريبًا لنا، لكن من وجهة نظر فيزيائية إنَّ السفر عبر الزمن للمستقبل ليس مستحيلًا على الإطلاق سنتطرَّقُ في الفصل الأول إلى طُرقٍ للسفر عبرَ الزمن بشكلٍ مُبسَّطٍ ومُمتعٍ في الوقت نفسه، ثم لنتعرَّف في الفصل الثاني على الثقوب السوداء -وحوش الفضاء- فهي تُعَد من أغرب الأشياء الموجودة في الفضاء وأكثرها سحرًا.

هل خُيِّلَ إلى عقلك يومًا أنَّ ما ننظره في فسيح السماء ليس وليد اللحظة؟! فما نراه ما هو إلا محض الماضي، وإنَّ النجوم التي نراها في السماء ليست جميعها متشابهة، فمنها ما يُولَد، ومنها ما يحتضر -ونحن ننظر إليه-، ومنها ما هو ميت! سنخوض هذا في الفصل الثالث من الكتاب.

ما زالت الثقوب السوداء لغزًا مثيرًا مُحيّرًا، فليست جميع الثقوب السوداء لها النوع نفسه، وما سيذهلنا في الفصل الرابع بأنَّ بعضها قد يمكّننا من السفر عبرَ الزمن أو السفر إلى أكوانٍ أخرى، وسيزيد

التشويق أكثر في الفصل الخامس بعد الحديث عن آلاتٍ للسفر عبر الزمن (للماضي والمستقبل)، لتظهر لنا مفارقة جديدة في الفيزياء تُسمَّى بمفارقة الجَدّ، تحاول أنْ تحدّنا وتمنعنا منطقيًا من تصديق المعادلات الرياضية التي تسمح لنا في التفكير في إمكانية السفر عبر الزمن إلى الماضي.

هل فكرت يومًا كيف يُمكن أنْ تختفي؟! أو أنْ توجد في مكانيْن في الوقت نفسه؟! أو أنْ تسافر من دولتك التي تقطُن فيها إلى أمريكا -مثلًا- خلال ثوانٍ معدودة! قد تعتقد أنَّ هذا مستحيل ويُعتَبر من الخرافات! فإنَّ عِلم ميكانيكا الكمّ هو علمٌ يدرس هذه الأمور، وقد وُجِدَت تطبيقات عليها على مستوى الذرات.

ولنكمل أخيرًا في الفصل الثامن ونتحدث عن ماذا سيحدث لك إذا دخلتَ الثُّقب الأسود، وهل سيتم شواؤك أم تمديد جسمك كالمعكرونة عندما تدخله؟!

لا يتجرَأ أيُّ فيزيائي على أنْ يقول: إنَّ فَهْمَنا للكون على وشك الاكتمال فكل اكتشاف جديد يحل معضلة وفي الوقت نفسه يُدخِلنا في معضلة أكبر، سنتعرف في الفصل التاسع على أبرز تسع معضلاتٍ في الفيزياء لم تُحَل حتى الآن، لنشرح في هذا الفصل عن العديد من نظريات الفيزياء الباهرة مثل نظرية الأوتار والفوضى وغيرها.

وبعدها لنتعرف على أبطال ميكانيكا الكمّ، وهم الجُسيمات الأوَّليّة، لنعرف مِن ماذا يتكوّن الكون من جُسيماتٍ أولية بأسلوبٍ مُبسَّط.

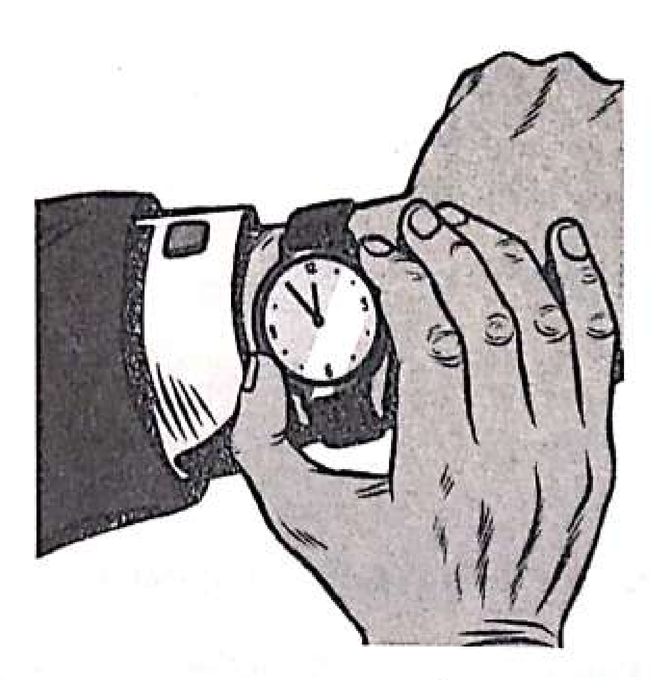
الفصل الأول

ما الزمن؟

"الناس مثلنا، الذين يؤمنون بالفيزياء، يعرفون أنَّ التمييز بين الماضي والحاضر والمستقبل ليس سوى وَهْم".

ألبرت أينشتاين (1879 - 1955)

هل تساءلت بينك وبين نفسِك في لحظة تفكير: ما الزمنُ؟ كثيرًا ما نستخدم كلمة الزمن في حياتنا اليومية العملية، فتسمعُنا نقول مثلًا: الزمن يمشي بسرعة، أو عندما تنسجم في لعبةٍ ما، وعند انتهائك منها، تجد أنه مضَت ساعات طويلة، فتقول: لم أشعر بِمرور الزمن، أو غيرها من المصطلحات، إذن.. هذا يدعونا للتفكير، ما الزمن؟ وماذا تعني هذه الكلمة؟



ربما تعتقد أنَّ هذا سؤالٌ بسيط، وإجابته سهلة، وقد تُجيب: يا له من سؤالٍ سهل! لا يحتاج إلى التفكير، فالزمن هو ما تشير إليه عقارب الساعة، أو ربما لو كنتَ أذكى قليلًا وذاكرتُك تُسعِفك، فتجيب بالإجابة التي رسَختْ في ذهنك من سنوات المدرسة، بأنه ناتج قسمة المسافة على السرعة، من معادلات الحركة البسيطة التي درسناها جميعًا.

حسنًا.. لا يمكنني القول بأنها إجابات خاطئة، لكنها ليستْ الإجابة العلمية الدقيقة لكلمة «الزمن»!

- ماذا تقصد بإجابة علمية دقيقة؟ هل هناك شيءٌ غير الذي نعرفه؟

- حسنًا، دعني أستثيرُ حماسَك أكثر، هل تتخيّل أنّ سؤالًا كهذا قد يكون مِفتاحًا للتعرُّف على فكرة السفر عبر الزمن؟

- أهذا معقول! لقد اقتنيتُ الكتابَ لفَهمِ الكوْن الحقيقيِّ مِن حولي، وليس على أنه عن الخيال العلميّ! دعني من المزاح الآن، حينما أُقرر أنْ أوسّع أُفق خيالي سأقرأ كتابك.

- يبدو لي أنك نهِمٌ في العلم، كل ما أريده منك الآن أنْ تثق بي، وسأزيدك بكل ما تريد معرفته من علمٍ، وسنرى إن كنت أمازحك كما قلت أم لا، وأعدك حينَها أنّكَ لن تكتفيَ بما سأُخبرُك بهِ في إجابةِ هذا السؤال، وسيظلُّ يُراودُك لِتبحث عنه أكثرَ وأكثر.

سأوضّح لكَ الآن «ما الزمنُ؟»، بإثباتات ومصادر علمية، أبرزُها كُتب ووثائقيات العالِم (براين غرين)، التي بسّط فيها هذا المفهوم.

تاريخ تعريف الزمن!

حاول الكثيرون منذ العصور القديمة أنْ يعرّفوا «الزمن»، وقد عرّفوه باستخدام مبدأ السببيّة (Causality).

يفيد هذا المبدأ بأنه: الزمن هو ناتج مِن أنَّ الأحداث تُسبب بعضها بعضًا وبسبب تسبيب هذه الأحداث لبعضها تكوَّن لدينا مفهوم الزمن.

- يبدو أنك أدخلتني في دوامة تفكيرٍ جديدة يا سيدي، حتى أصبحت أشعر كأنني إحدى الشخصيات الكرتونية التي تدور العصافير حول رأسها عندما تصطدم بشيءٍ ما، إنْ كان لديك تفسيرٌ واضح، فلا مانعَ من مواصلة القراءة.

- حسنًا، سأوضّح لكَ مبدأ السببية بمثالٍ بسيط، لو ألقيْنا كأسَ عصيرٍ على الأرض، فإنَّ ذلكَ سيتسبب في كسر الكأس، وعَملية الكسر هذه تمت خلال مدة زمنية، فيمكنُنا القول إذن: الزمن هو تتالي وتتابع الأحداث بعضها تلو بعض، وتسبيب أحدها للآخر، وهكذا تكوّن لدينا مبدأ السببية.

وهكذا كان مبدأ السببية (Causality) هو أول تعريفٍ للزمن بمفهومه المُبسّط، وهو أنه ينشأ من تسبيب الأحداث لبعضِها بعضًا.

حاول بعدها الكثيرُ من العلماء أنْ يعرّفوا الزمن بمفهومه الصحيح، لكنّ أيًا منهم لم ينجح في ذلك، وباءت جميع محاولاتهم في تعريف الزمن بمفهوم صحيح بالفشل، بما فيهم **نيوتن**، الذي قال: الزمن يتحرك نحو المستقبل فقط، ولا يمكنُنا أبدًا العودة بالزمن والسفر للماضي، فالزمن **مُطلق** (Absolute)، أي لا يتأثر بشيء، ودائمًا دائمًا يتجه نحو مستقبل جميع الناس مَهما حدث، ومَهما حاولوا فعل أي شيء، سيبقى زمنهم يمشي في اتجاه المستقبل.

كما شبّه نيوتن الكوْنَ بالمسرح، ويتحرك فيه الزمن دائمًا للأمام.

أما في العلم الحديث، فهذا التعريف للزمن **يُعَد غير مقبول**؛ إذ إنَّ العلماء مثل نيوتن ومَن سبقوه لم يستطيعوا تفسير ماهية الزمن فعليًا، لكننا لا ننكر دورهم في قياسه قياسًا دقيقًا جدًّا، مستخدمين جميع أدوات القياس، من الساعات القديمة في عصورهم، وصولًا إلى الساعات الدقيقة في عصرنا هذا، كاستخدام ساعة ذرة السيزيوم، والتي تصل دِقتُها في قياس بالزمن بعَرْضه مُكوَّنًا من 16 منزلة، فنقول مثلًا: الساعة 11:35:45:28:59:35:14:43

- يا لهذه الدقة الهائلة!

- ماذا لو علِمتَ أنَّ هنالك ما هو أدق، ساعة جديدة تُدعى ترابيديوم- 60، التي قد يصل فيها اهتزاز الإلكترون إلى مئات التريليونات اهتزازة في الثانية الواحدة وهذا يزيد دقة الساعة زيادة هائلة. تخيَّلْ معي مدى روعة ودقة التطور!

حسنًا! لقد قِسنَا الوقت بأدق الطرق، ولا نستطيع أنْ ننكر هذا، ولكن.. إلى الآن لم يخبرنا أحدٌ ما الزمن بأسلوبٍ واضح!

آينشتاين والتعريف الصحيح للزمن

بقيَ مفهوم الزمن مُبهمًا إلى نهاية القرن التاسع عشر، حتى اللحظة التي سمع العالم فيها مقولة: «**الزمن هو مجرد وَهمٍ، حتى لو كان هذا الوَهم متكررًا**».

هذه الكلمات نطق بها العالِم آينشتاين، وهو بعمر الـ 26 عامًا، بعد أنْ مكثَ طويلًا في تأمُّل الساعة التي قضى أعوامًا يمر بها في طريقه إلى العمل، الساعة الأشهر في مدينة برن في سويسرا هي التي حفّزت عبقرية آينشتاين الفذة والفريدة من نوعها للبحث في هذا الأمر، ليخرج لنا بأوَّل تعريفٍ واضح للزمن.

فعندما فكّر في ذلك الوقت بحوادث القطارات البخارية المنتشرة عند تصادم القطارات في مدينته مع قطارات المدن الأخرى، اكتشف أنَّ العامل المشترك في كل الحوادث هو **الزمن**، ومنها خرج بأفكاره العظيمة عن الزمن؛ لنرَ المشكلة التي ألهمته إلى نظرياته عن الزمن وهي **اختلاف التوقيت بين الدول**، إذ لم تكُن الساعة الموجودة في مدينة برن -المدينة التي يقطُن بها آينشتاين- دقيقة بالنسبة إلى آينشتاين فقد كانت مختلفة مع ساعات مدينة زيورخ التي تبعد تقريبًا مسافة 75 ميلًا، والفرق في التوقيت هو مدة أربع دقائق، وبذلك فقد كانت كل دولة

تعيّن الوقت بالنسبة إليها دون النظر إلى توقيت (الساعات) في الدول الأخرى، فمثلًا يأتي وقت الظهر عند ارتفاع الشمس لكل دولة إلى حد معين، وهذا طبيعيّ جدًّا، ولكن إذا أردنا تعقيد الأمور أكثر، فقد كانت القطارات تحمل وقت المدينة التي تبدأ منها رحلتها، بهذا.. إنْ سافرتَ من مدينة برن إلى زيورخ، تكُن في قطارٍ يحمل وقت برن، بما أنَّ رحلتَك قد انطلقت منها، وإنْ كانت الرحلة بالعكس من زيورخ إلى برن فسيحمل القطار وقت زيورخ، وكانت هذه المعضلة كبيرة بالنسبة إلى السكك الحديدية، والتي تعتمد دقة عالية في الوقت، ومِن ثَمَّ فإنَّ فرق التوقيت هذا بين المدن، كان سببًا رئيسًا في وقوع الحوادث والتصادمات بين القطارات، نتيجة حدوث تقاطعات كبيرة بين القطارات، حيث إنَّ كل قطار يخرج حسب توقيت المدينة التي انطلق منها.

شكّلتْ هذه الحوادث والتوقيتات المختلفة كابوسًا لحكّام الدول؛ وظهرت الحاجة لتوحيد الوقت في أماكن مشتركة بين دول العالم، وفي الوقت نفسه.. كانت إلهامًا وبدايةً حقيقية لفَهم الزمن الذي لم يفهمه الكثير حتى الآن.

كان آينشتاين يعمل في مكتب براءات الاختراع في السادس والعشرين من عمره، ورأى العديد من الاختراعات التي تساعد على حل مشكلة التوقيت بين الدول، والتي كان من أبرزها **مبادلة إشارات التلغراف**، حيث كانت الساعات متزامنة بواسطة موجات الراديو، المُهم أنَّ مشكلة اختلاف التوقيت بين الدول كانت طرف الخيط الذي أمسك به آينشتاين وسار معه حتى وصل إلى الطرف الآخر وخرج لنا بنظرية عن الزمن قلبت موازين الفيزياء رأسًا على عقب!

في عام 1905 في غرفة منزوية في الطابق الأول في مدينة برن خرجت من عقل آينشتاين بعض الأفكار والنظريات قلبت موازين العِلم،

وجعلت مجتمع العلم يفكر بطريقة أخرى تمامًا، وقد ترجم هذه الأفكار في خمس ورقات، وضع فيها لمساته الأخيرة من نظرية النسبيّة، ونشرها في الجريدة بعد أنْ فرغ منها بيومٍ واحد.

ومكنون هذه النظرية يحوي عدة نقاط، كان أهمُّها **أنَّ الوقت مجرد وهمٍ، وأنه غير منتظم ويتغير اعتمادًا على السرعة** (أيْ كلما زادت سرعة الحركة يتباطأ الزمن، مما يعني أنَّ كل شخص لديه ساعة تدق وتتحرك بطريقة مختلفة عن الساعات الأخرى بالاعتماد على سرعة هذا الشخص).

هل هذا معقول؟!

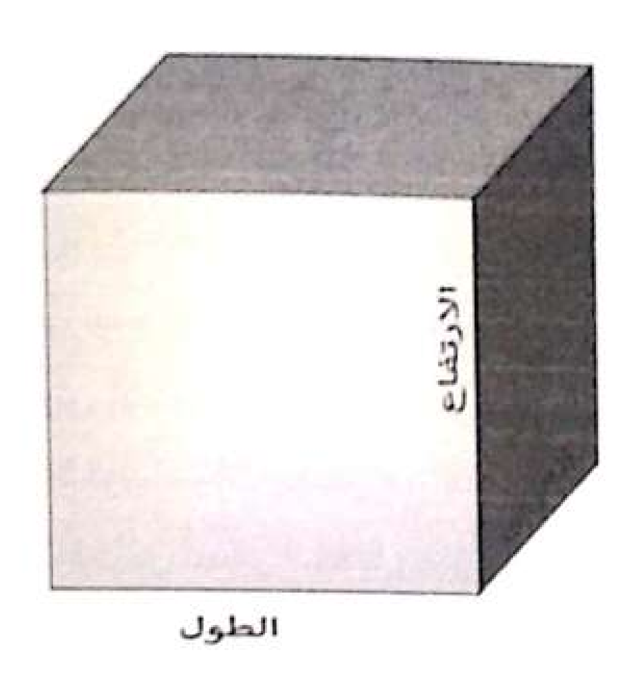
مع أنَّ هذه الفكرة قد تبدو غريبة ومجنونة، فإنها جعلت من نظريات الأب الروحي للفيزياء (إسحاق نيوتن) في مهب الريح، إسحاق نيوتن الذي كان يتربع على عرش علماء الفيزياء، ونظرياته التي استوطنت عقولهم لأكثر من مئتيْ عامٍ، حان الوقت لكي ترقد بعض نظرياته في سلام؛ لظهور فكر جديد يدحض نظرية عالِمنا عن الزمن، فقد كانت إحدى مقولات نيوتن الأشهر: «**إنَّ الوقت يمر بالطريقة ذاتها للجميع في كل مكان في الكون**»، وإننا نعيش في عالم محكوم بدقات الساعة في سجن يديره الوقت من أصغر الخلايا وصولًا إلى المجرات والكواكب، كل هذا يخضع لإيقاع من الزمن الثابت والمطلق، فكان رأيه أنَّ الوقت في كل مكان حولنا منتظم ويجري في اتجاه واحد، وهو الأمام دائمًا.

كل هذه المبادئ والنظريات عن الزمن ذهبت أدراج الرياح بحلول نظرية النسبيّة التي وضعها العالِم آينشتاين، ولكن أخيرًا محا آينشتاين كل هذه المفاهيم بوضعه نظرية النسبية، فسوف ندرس هنا دراسة مُفصّلة كيف حطّم آينشتاين مفهوم نيوتن عن الزمن!

أساسيات نظرية النسبية الخاصة

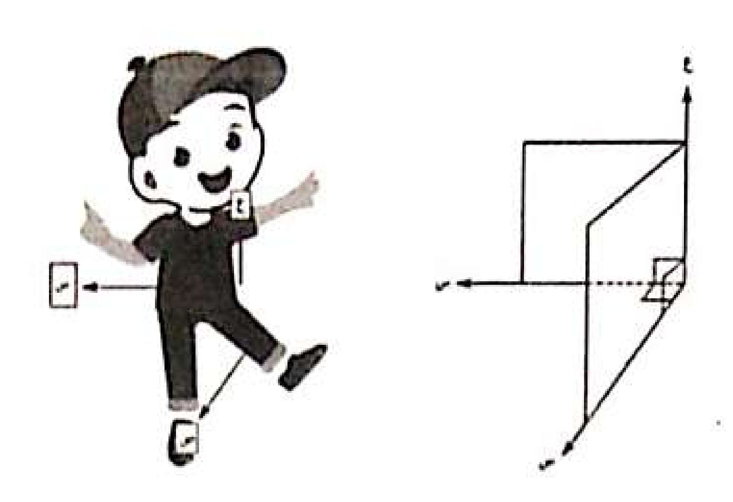
عام 1905 خرج لنا أينشتاين بنظرية جديدة تُدعى نظرية النسبية الخاصة حطمت مفهوم نيوتن عن الزمن كما قلنا. فماذا كانت هذه النظرية؟ ومن أين أتت جذورها؟ وعلامَ تنُص؟

دعني أشرح لك الأمر بموضوعية مُستعينة بطريقة العالم (براين غرين)، يقول أينشتاين: نحن نعلم بأنّ هنالك ثلاثة أبعاد مكانية مُتعارَف عليها، هي «طول وعرض وارتفاع»، فلو أردنا أنْ نُوصِف أبعاد مكعب -مثلًا-، فإننا نصفه بأبعاده الثلاثة: طوله وعرضه وارتفاعه، ولا يكتمل الوصف دون أحدها.



أرأيت! بشكلٍ بسيطٍ نحن الكائنات البشرية نتعامل مع ثلاثة أبعاد، وهي جميع الأبعاد التي نستطيع أنْ نراها، فعندما نريد أنْ نتحرك باتجاه معين نقول الحركة للأمام والخلف تُعتبر بُعدًا، والحركة لليمين واليسار تُعتبر بُعدًا، وللأعلى والأسفل تُعتبر بُعدًا آخر ثالثًا.

فنحن نحدد المكان بثلاثة متغيرات، وهي البُعد الأفقي والبُعد الرأسي والارتفاع، والتي نعرّفها بالأبعاد المكانية، والتي نحددها بالإحداثيات الثلاثة: (س، ص، ع)، وبسبب هذه الأبعاد الثلاثة أصبح لدينا مصطلحات مثل يمين ويسار وفوق وتحت وأمام وخلف.



أما آينشتاين له رأي غريب حقًا، أقرب ما يكون إلى الجنون -لمَن لا يفهمه-، وهو (أنَّ هنالك بُعدًا رابعًا ملموسًا وموجودًا مثل بقية الأبعاد المكانية الثلاثة، ولكن هذا البُعد يُدعى ببُعد الزمن، وهذا البُعد نحن نؤثر فيه وهو يؤثر فينا).

بُعدٌ رابع؟! ويُسمَّى بُعدَ الزمن؟! كيف هذا؟ الأبعاد المكانية الثلاثة ملموسة ويمكننا التصديق بها دون أدنى تفكير، لكنّ بُعدًا رابعًا وملموسًا! كيف لنا أنْ نقتنع به؟! مَن منّا يستطيع أنْ يرى بُعدَ الزمن؟!

يقفز آينشتاين فجأة من طائرة المعرفة والعلم ويُظلل عقولَنا من أشعة الجهل الحارقة، بتوضيحه نظرية البُعد الرابع، فيخبرنا أنَّ هذا البُعد لا يمكننا نحن البشر بمحدودية قدراتنا العقلية أنْ نراه، فقد خلقنا الله -لحكمةٍ- بقُدرة بصرية معينة، تساعدنا على رؤية ثلاثة أبعاد مكانية فقط، بينما يستعصي علينا رؤية البُعد الرابع.

(الجدير بالذكر أننا في الفصل التاسع من الكتاب سندرس العديد من الأمور التي لا توجد لها حلول في الفيزياء إلى الآن، وقد استعصت أكبر عقول الفيزيائيين عن حلها، من ضمنها لماذا لا نستطيع أن نرى البُعد الزمني الرابع؟).

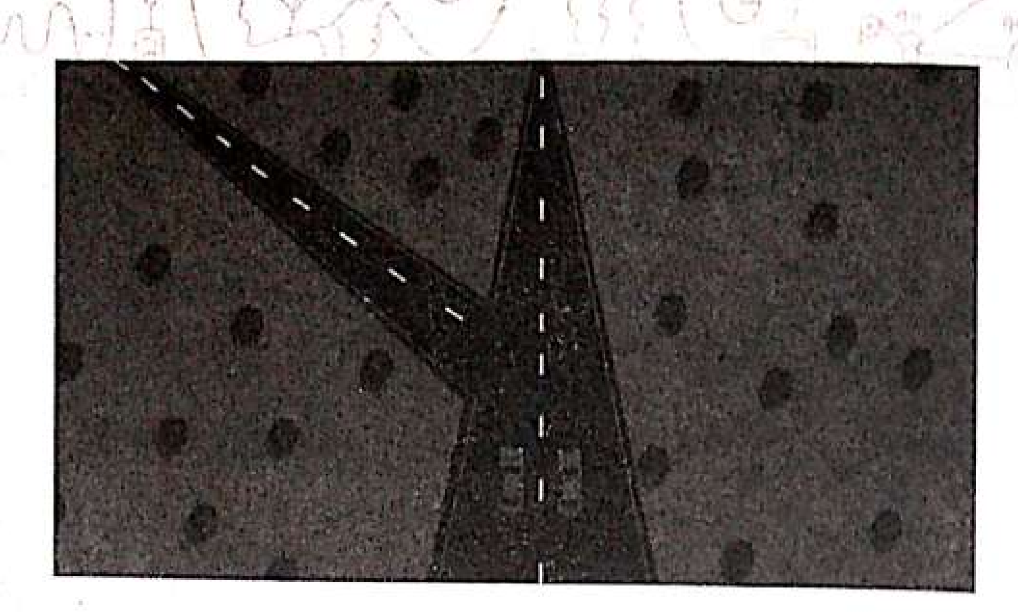
حسنًا، يقول آينشتاين إنه يوجد بُعدٌ رابع لا نراه بسبب قدراتنا العقلية الفطرية، لكن هنالك بقية لمقولته ما زلنا لم نفهمها!

(وهذا البُعد نحن نؤثر فيه وهو يؤثر فينا ويتفاعل مع الأبعاد الأخرى).

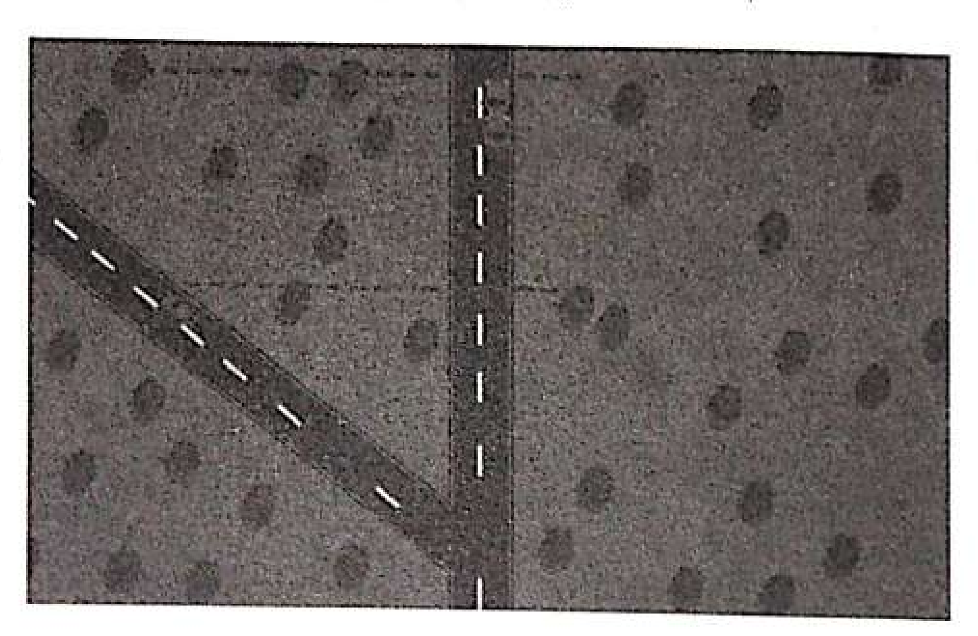
كيف يمكننا أنْ نؤثر فيه ويؤثر فينا وأنْ يتفاعل مع الأبعاد الأخرى! تبدو جملة غير منطقية على الإطلاق.

يقفز آينشتاين بخفة مرة أخرى متحاذقًا ليوضّح لنا هذه النظرية عن طريق تجربة علمية، وليس هذا فقط، بل أنَّ هذه التجربة ستغير وجهة نظرنا للوجود، سأبدأ معك بسلسلة مفاجآت.

يقول آينشتاين: سأتخيَّل بأنني أمتلك سيارة، وصديقي يمتلك أخرى، وكنا في المكان نفسه نجلس داخل سيارتيْنا في منطقة معينة كما في الصورة، واختلفتُ وصديقي لأنني سألته عن معنى الزمن، فأخبرني بأنه شيءٌ مطلق دائمًا يتحرك نحو المستقبل، ولم نتقبَّل هذا الاختلاف، فتفرقت بنا السُّبل، وسلَك كلٌّ منَّا طريقًا مختلفًا كما في الصورة (أنا قدت سيارتي باتجاه الشمال وصديقي باتجاه الشمال الغربي) وبالصدفة كان انطلاق سيارتيْنا بالسرعة نفسها 60 كم/ ساعة وتحركنا مسافة 10 أمتار وانطلقنا في اللحظة نفسها! (صدفة).



وصوّرنا أحدُكم (بالصدفة أيضًا) بعدما قطعنا مسافة ١٠ أمتار من الطائرة وكانت الصورة كالتالي:



الآن بعد أنْ نظرتم إلى الصورة، سأسألكم سؤالًا بسيطًا إجابته في الصورة. أيُنا يُحرِز تقدمًا أكثر في اتجاه الشمال (أيْ الأعلى)؟

نلاحظ بأنني أحرز تقدمًا أكثر في اتجاه الشمال (الأعلى كما في الصورة). وهذا منطقي فأنا أتحرك في اتجاه الشمال لذلك فإنَّ حركتي ذهبت كلها إلى اتجاه الشمال فقط، أما صديقي فقد تحرك في اتجاه الشمال الغربي، إذن فإنه أصبح يتحرك في اتجاه الشمال والغرب معًا،

وهذا يعني بأنَّ جزءًا من حركته في اتجاه الشمال تحوّل إلى اتجاه الغرب (أيْ أنَّ بُعد الغرب قد شارك بُعد الشمال في حركته).

هذا **طبيعي ومنطقي** إلى الآن.

ولكن ما أريدكم أنْ تركزوا عليه من هذا المثال بأنَّ **الأبعاد المكانية تأخذ من بعضها وتتشارك مع بعضها بعضًا وتتحول إلى بعضها** (كما رأينا في المثال؛ فقد تحوّل جزءٌ من حركة صديقي في اتجاه الشمال إلى اتجاه الغرب).

- ماذا تقصد بتداخل كل هذه الأبعاد؟

- أقصد أنه كما تتفاعل هذه الأبعاد مع بعضها وتأخذ من بعضها بعضًا أيضًا، وبما أنني أدخلت بُعدًا رابعًا وهو بُعد **الزمن** فسيحصل عليه ما يحصل على باقي الأبعاد، هل تتفق معي في ذلك؟

- نعم، أتفق معك.

- ولكن ماذا سيترتب عليه؟

- يعني أنَّ الزمن سيتأثر ويتشارك مع باقي الأبعاد!

- لم نفهم تمامًا بعد! هل لنا بمثال توضيحي؟

هنا يعود آينشتاين ويقول:

- حسنًا، سأخبركم بتجربة بسيطة لن تصدقوها. ولديَّ الكثير من الدلائل على صحتها.

- هيَّا أَخبِرْنا.

- سأسألكم سؤالًا بسيطًا آخر سنعرف منه الإجابة.

أولًا، أريد منكم أنْ تقفوا دون حراكٍ!

- حسنًا.. لو وقفنا، ما التالي؟
- هل أنتم واقفون بلا حراكٍ فعليًّا!
- ما هذا السؤال؟ أنت أخبرتنا بأنْ نقف وتسألنا بعد أن وقفنا هل نحن واقفون فعليًّا! بالطبع نحن واقفون.

يفاجئنا مجددًا آينشتاين -لا عجَب، فمفاجآته لا تنتهي-، ويخبرنا بأننا فعليًّا حتى وإنْ كُنا واقفين ومُتوقّفين عن الحركة، فنحن ثابتون بالنسبة إلى الأبعاد المكانية ولكننا نتحرك بالنسبة إلى البُعد الزمني.

انظروا إلى ساعاتكم.. ألا تتحرك عقاربها؟ وهذا يعني بأنكم تتحركون في البُعد الرابع (بُعد الزمن).

- حسنًا، كونك أدخلت بُعد الزمن كبُعدٍ رابع سنتقبَّل منك أنْ تقول بأننا نتحرك بالنسبة إلى البُعد الزمني، حتى وإنْ كُنا ساكنين بالنسبة إلى الأبعاد المكانية ولا نتحرك فعليًّا.

فما المفاجأة التالية؟!

يطلب آينشتاين من الجميع أنْ يتحركوا في اتجاه الأمام.

- حسنًا، فعلنا، ولكن ماذا يعني ذلك؟

ستلاحظون بأنكم قد **أشركتم** بُعدًا ثانيًا مع **الزمن** وهو **بُعد الأمام والخلف**، بحيث إنكم عندما كنتم واقفين، كنتم تتحركون فقط على بُعد الزمن وباقي الأبعاد الأخرى المكانية الثلاثة ساكنة، ولكن عندما تحركتم للأمام شاركتم حركتكم في بُعد الزمن مع بُعد الأمام والخلف، وهكذا سيتشارك البُعدان، **وسيأخذ** بُعد الأمام والخلف من بُعد الزمن، وبما أنه سيأخذ بُعد الأمام والخلف من بُعد الزمن فإنه سيتباطأ الزمن في ساعتك!

- لحظـة.. لحظـة! ماذا تقـول؟! كيـف سـيتباطأ الزمن في ســاعتي؟!
- سيتباطأ الزمن في ساعتك ولكن بجزءٍ قليل جدًّا، بالطبع لن تشعر به لأن سرعتك بطيئة أصلًا، وكلما زادت سرعتك أكثر ظَهر التباطؤ أكبر.
- ما هذا! أَتقصُد بينما أخي جالسٌ على الكرسي وأنا أتحرك؛ فإن ساعتي ستتحرك أبطأ منه لأنني جعلت الأبعاد الأخرى تتشارك مع بُعد الزمن لديَّ! وهكذا ستتحرك عقارب ساعتي أبطأ من عقارب ساعة أخي!

وهذا يعني أننا أنا وأخي لدينا قراءات مختلفة لساعتيْنا؟! ولا يظهر هذا الفرق بشكل واضح لأن سرعتي قليلة جدًّا، بحيث قد يظهر إذا استخدمتُ وأخي ساعة ذرة السيزيوم أو تربيديوم- 70 لأنهما دقيقتان جدًّا. وكلما زادت سرعتي أكثر تباطأ الزمن أكثر وظهر ذلك التباطؤ أوضح على الساعات الدقيقة؟! هل يعقل هذا؟! لا يبدو منطقيًّا البتّة!

ما يقوله آينشتاين يُعَد في القِدم شيئًا مرفوضًا تمامًا؛ لأنه يتنافى مع وجهة نظر نيوتن بأنَّ الزمن ثابت للجميع، وبأنه شيء منفصل عن أمور حياتنا، كما أنَّ الزمن -حسب رأي نيوتن- لا يتأثر بالحركة ولا بأي عامل، إنما دائمًا يتحرك للأمام بالمقدار نفسه للجميع.

أما بالنسبة إلى آينشتاين، فله قول مغاير تمامًا: «**الزمن يتأثر بالسرعة**».

وهذا أول ما تنبَّأتْ به نظرية النسبيّة الخاصة لآينشتاين.

إذن، نلاحظ بأننا قد فَهمنا ما تقوله نظرية النسبيّة الخاصة باستخدام تجارب ذهنية، ولكن آينشتاين استخدم الرياضيات للوصول إلى هذه

النتيجة أيضًا، أيْ أنه تم الوصول إلى فكرة أنَّ الزمن يتأثر بالحركة باستخدام التجارب الذهنية والرياضيات النظرية معًا.

ويُكمِل آينشتاين ويؤكد دخول بُعد الزمن على الأبعاد المكانية بقوله بما أننا موجودون على كوكب الأرض:

- كوكب الأرض يدور حول نفسه بسرعة 2,98 كم/ ثانية.
- يدور كوكب الأرض حول الشمس بسرعة 29,6 كم/ ثانية.
- وتتحرك المجموعة الشمسية التي تحوي الشمس وحولها الكواكب الثمانية داخل المجرة بسرعة 19,224 كم/ ثانية.
- وتدور المجرة حول نفسها بسرعة 192,24 كم/ ثانية.

كل هذه الأنواع المختلفة من الحركة التي نراها تعني **بأنَّ المكان الذي كنتَ تجلس فيه عندما بدأتَ بقراءة هذه الفقرة، هو مكانٌ مختلف تمامًا عن المكان الذي توجد فيه الآن بعد أنْ أنهيتَ قراءتها؛ إذ يبعد مئات الآلاف من الكيلومترات.**

صحيح بأنك ترى الدنيا حولك ثابتة، ولكن هذا الثبات ما هو إلا ثبات نسبيّ فقط، وليس مُطلقًا، بمعنى، لو رآك شخصٌ من خارج المجرّة، سيرى أنك تتحرك بسرعاتٍ هائلة في الثانية الواحدة، ويتغير مكانكَ طَوال الوقت بالنسبة إلى الكوْن.

وهذا يعني أنَّ الأبعاد المكانية نسبيّة، وكما قال آينشتاين: بأنَّ بُعد الزمن موجود، وهو أيضًا نسبيّ، إذن **فكل شخص يقيس زمنًا مختلفًا حسبَ حركته وسرعته في المكان**، لتقوم أبعاد المكان من الأخذ من بُعد الزمن، لتُشارك أبعاد المكان بُعد الزمن.

إذن فإنَّ الأبعاد الأربعة هي نسبيّة وتختلف من شخص لآخر، وهكذا خرج معنى اسم **نظرية النسبيّة.**

دعْنا نتفق، بأنَّ فكرة تأثُّر الزمن بعامل السرعة فيما سبق من الأمثلة، هي فكرة ما زالت غير منطقية، فماذا لو شرحنا هذه النظرية على نطاقٍ أكبر؟

هذا يعني أنَّ رجال الفضاء الذين يسافرون عادةً بسرعاتٍ هائلة، سيعودون أقل عُمرًا من أعمارهم التي يجب أنْ يكونوا عليها فيما لو كانوا مستقرين على سطح الأرض، لأن الوقت يتمدد في ساعاتهم ويتباطأ، وكأنهم يسافرون إلى مستقبل الأرض، وحتى إنْ سافروا بسرعات عالية ولوقت قصير حسب ساعاتهم ثم عادوا، سيكون الزمن الذي مَرَّ على الأرض أكثر كثيرًا مما يظنون.

وليس هذا فقط، بل أنه بالنسبة إلى الرحلات الطويلة جدًّا.. إذا سافرَ رواد الفضاء بسرعاتٍ عالية قريبة من سرعة الضوء، قد يكون الفارق الزمني بين عمره الأصلي لو بقي على كوكب الأرض، وعمره الذي سيصل فيه إلى كوكب الأرض بعدَ رحلته كبيرًا جدًّا، لدرجة أنه قد يعود فيجد أنَّ عدة أجيال -والجيل مائة عامٍ-، أو حتى آلاف السنين قد مَرّت على كوكبنا الأصلي قبل عودته.

أمثلة أخرى على نظرية النسبيّة الخاصة:

لنفهم الفكرة أكثر، على سبيل المثال، ولنتخيل الأمر بشكلٍ أوضح وبالأرقام، إذا قرر شخصٌ ما السفر في رحلة من كوكب الأرض إلى نجم يُدعَى رِجِل، يبعُد عنّا تقريبًا 900 سنة ضوئية (السنة الضوئية هي وحدة مسافة وليست وحدة زمن، واعلم صديقي بأنَّ الضوء هو أسرع ما في الكون، ولا يمكن لأيٍّ كان أنْ تصل سرعته لسرعة الضوء مهما بَلَغَتْ سرعته، وذلك بناءً على نظريات آينشتاين، وإلا ستفشل كلّ معادلات الفيزياء التي نعرفُها وندرسُها في المدارس والجامعات، وسنحتاج إلى

فيزياء جديدة حينَها، ولأُقرّب عليك تخيُّل سرعة الضوء الهائلة هذه؛ فالضوء يدور حول الكرة الأرضية 7 دورات ونصف في الثانية تقريبًا، وسرعته ثابتة دائمًا، وهائلة جدًّا، وتساوي تقريبًا 300 ألف كيلومترٍ/ثانية)، وبما أنَّ النجم في مثالنا هذا يبعُد 900 سنة ضوئية، مما يعني أنه بعيدٌ جدًّا جدًّا عنَّا، كوْن الضوء يدور حول الأرض 7 مرات في الثانية، لذا فإنَّ 900 سنة ضوئية مسافة شاسعة جدًّا.

لِنعُدْ إلى مُسافرنا المحظوظ، فإنه إذا سافرَ إلى «النجم رِجِل» الذي يبعُد عنَّا 900 سنة ضوئية بمركبة فضائية تسير بسرعة (99,99 %) من سرعة الضوء، أي بسرعة قريبة جدًّا من سرعة الضوء (ولكن ليس ما يعادلها)، ستستغرق الرحلة ذهابًا وإيابًا إلى هذا النجم 1800 سنة حسب قياساتنا على سطح الأرض، مما يعني، بالنظر إلى الفارق الزمني بين اليوم الذي غادَرَ فيه كوكب الأرض واليوم الذي عاد فيه، فسيكون قد استغرق بالزمن المُقاس على ساعات سكان الأرض 1800 سنة عادية كاملة، ولكن ما سيقيسه هو حسب ساعته وهو في المركبة الفضائية للذهاب والإياب ستأخذ رحلته فقط 28 عامًا وسيظن أنَّ رحلته قد استغرقت فقط 28 عامًا، وأيضًا سيعود وقد زادَ عُمره 28 سنة فقط، **ولكنه سيعود وسيُصدم بأنه قد مَرَّ على كوكب الأرض 1800 سنة كاملة.**

يا للهول هل هذا معقول!

لكن هنالك مشكلة تسمى بالتماثل (Symmetry) تنص على عدم وجود فكرة تمدد الزمن بالأصل عندما نتحرك بسرعات ما! ولكن ما هذه المشكلة؟ وهل هذا يعني أن كل ما درسناه هو غير حقيقي ولا يمكننا السفر عبر الزمن عندما نتحرك بسرعات عالية!

بالطبع لا، فهنالك العديد من التجارب العلميّة التي أثبتت فكرة السفر عبر الزمن من خلال السرعة، درسنا بعضًا منها وسندرسها في نهاية الفصل أيضًا في قسم «إثباتات عملية على نظرية النسبية»، وهذا يعني وجود حلول لهذه المشكلة طبعًا؛ بحيث سندرسها في نهاية الفصل عند دراسة مفارقة التوأمين بشكل مفصّل، إن شاء الله.

نعود لنقول إنَّ فكرة نظرية النسبيّة غير منطقية أبدًا وغريبة، ولكن عليها العديد من التجارب التي تؤكّدها، وهذا **أول عِماد هُدِم للعالِم نيوتن**، وللأسف ستلاحظ شيئًا فشيئًا كيف أنَّ الفيزياء الحديثة ستهدم منطقنا السائد الذي نتعامل فيه بشكل يومي في حياتنا اليومية، وهكذا.

وبعد هذه الأمثلة.. يمتلك آينشتاين الثقة الكافية ليقول إنه أدخلَ فكرة الزمن على أنه بُعدٌ رابعٌ مثل الأبعاد الأخرى، لم يُبقِهِ بمَعْزَلٍ عنها، فبدلًا مِن أنْ نقول إنَّ أبعاد المكان ثلاثة، وبُعد الزمن واحد، نجمعهم في مصطلح واحد ونقول: **أبعاد الزمكان** (space-time)، وهي تعني أبعاد المكان الثلاثة (Space) وبُعد الزمن (Time) مدموجين مع بعضِهم بعضًا.

كيف فكّر آينشتاين بمفهوم الزّمكان؟

لمعرفة كيف فكر آينشتاين بهذا المفهوم.. تعالوا نطّلع على المبدأ الأساسي الذي انطلق منه مفهوم الزمكان وهو: **سرعة الضوء هي نفسها للجميع.**

ماذا يعني هذا المبدأ؟

يقول آينشتاين: لو تَخيَّلتَ أنك تسير بسيارة أجرة، وكان هنالك رادار يقيس سرعةَ السيارة، فإنه بالطبع عندما تزيد أو تُبطِئ سرعة السيارة سيظهر هذا على قراءة الرادار.

لكنه يضيف إلى ذلك ويقول: إنكَ لو تَخيَّلتَ بأنَّ هنالك رادارًا يقيس سرعة الضوء الخارجة من مصابيح سيارة الأجرة، في البداية عندما تكون السيارة ساكنة ستكون سرعة الضوء كما نعرفُها هي 300 ألف كيلومترٍ/ ثانية، ولكن عندما تتحرك السيارة.. كم ستصبح سرعة الضوء؟

لا بُد أنك ستُجيب بأنها ستصبح مجموع سرعة السيارة + سرعة الضوء التي نعرفها.

- هنيئًا! إجابة خاطئة تمامًا؛ لأن سرعة الضوء في الفراغ تبقى ثابتة، وإمكانية أنْ تقل أو تزيد مُستحيلة، هذا يعني أنه مَهما زدتَ سرعاتٍ على سرعة الضوء، سيبقى الرادار يقيس السرعة نفسها، وهي 300 ألف كيلومترٍ/ ثانية؛ ذلك بأنَّ السرعة هي مقياس لمكان يسافر عَبْره شيءٌ ما خلال زمنٍ مُعين. وهكذا اقترح آينشتاين أنَّ الزمان والمكان يمكن أنْ يعملا معًا ويُوجدا معًا بكلمة (زمكان)، وهما يتعدّلان معًا باستمرار عبْرَ سُرعة الضوء، فمتى وأينما قُمنا بقياس سرعة الضوء ستكون لها القيمة نفسها؛ إذ إنه لو كان الزمان وحده والمكان وحده لكانا مُطلقيْن، ولكنهما معًا نسبييْن، ويتعدّلان معًا لحفظ مبدأ ثبوت سرعة الضوء لجميع المراجع والأشخاص!

ما الجاذبية؟! ومَن نظريته تنتصر: نيوتن أم آينشتاين؟!

إذن.. خُلاصة الصفحات السابقة أنَّ الزمن يتأثر بالحركة، لكنها ليست الحركة وحدَها، فلا يزال هناك الكثير في جُعبة آينشتاين ليُخبرَنا به، فيضيف أنَّ **الجاذبية** تُعد عاملًا آخر يؤثر في الزمن.

- أحقًا ما تقول؟! كيف هذا الآن؟

يُفسّر آينشتاين بأنه كلما اقتربْتَ من مركز جاذبية ما، فإنَّ الزمن سيتباطأ، وستتباطأ حركة عقارب ساعتك، فلو كنت -مثلًا- في الطابق السُّفلي في منزلك، وكان أخوك في الطابق العلوي من المنزل، فإنَّ ساعتكَ ستتباطأ أكثر من ساعة أخيك، ولو كان كلاكُما يضع ساعةً ذريةً دقيقة، فإنَّ الفارق سيكون بسيطًا جدًا جدًا، بما أنَّ المسافة بين الطابقيْن بسيطةٌ أيضًا.

ولكن، ماذا بشأن الأقمار الصناعية التي تدور في مدارات حول الأرض، فهي بعيدة جدًا عن مركز الجاذبية (مركز الأرض)، وبما أنه حسب ما يقول آينشتاين، كلما اقتربْنا من مركز الجاذبية يزداد تمدد الزمن، فإنَّ الزمن لدينا نحن سُكان الأرض متمدد أكثر، وسيتحرك أسرع لدى ساعات الأقمار الصناعية، وبما أننا نحتاج إلى أنْ تكون الأقمار الصناعية متزامنةً في التوقيت مع الأرض، فإنَّ العلماء يقومون بحسابات النسبية عليها، بحيث يتم عمل تأخير لها لتتزامن مع ساعتنا.

- معلومة قيّمة حقًا، ومنها أخرجَ آينشتاين نظرية جديدة سنة 1915م -أي بعد 10 سنوات تقريبًا عن نظرية النسبيّة الخاصة- تُسمَّى بنظرية «**النسبيّة العامة**»، وهي باختصار نظرية تُدخل الجاذبية على المعادلات.

مُختصر القول، إنَّ الجاذبية تؤثر على الزمن تأثيرًا ضخمًا، ما يدفعُنا لنتساءل: ماذا نعني بالجاذبية؟ ولماذا تؤثر على الزمن وتجعله يتباطأ بهذا الشكل؟

تعريف نيوتن للجاذبية

يقول العالم نيوتن بأنَّ قوة الجاذبية هي قوةٌ خفية تنشأ بين أي جسميْن يمتلكان كُتلةً مُعينة، مثلًا: الكتاب والطاولة، أنتَ والثلاجة، أو – مثلًا- أنا والهاتف، ولنأخذ هذا المثال (أنا والهاتف) لنفهم أكثر ما يعنيه نيوتن. في هذه الحالة يقول نيوتن: كوْني أمتلك كتلة، والهاتف كذلك.. فإنَّ هنالك قوةَ جذْب خفية تنشأ بيننا.

ولكن هل شعرتَ ذات يوم بأنك تنجذب للهاتف أو أنَّ الهاتف ينجذب لك؟!

بالتأكيد لا، ضَرْبٌ من الجنون، ولذلك يقول نيوتن بأنَّ قوة الجاذبية التي تشعر بها الأجسام التي تمتلك كتلة يمكن حسابُها من خلال قانون يُدعَى **بقانون الجذب العام**، ونص القانون كما درسنا في المدرسة هو:

$$\left(\text{قوة التجاذب} = \frac{\text{ثابت الجذب العام كتلة الجسم الأول} \times \text{كتلة الجسم الثاني}}{\text{مربع المسافة بين الجسمين}} \right)$$

ك$_2$ ق$_2$ ← → ق$_1$ ك$_1$

ف

$$ق_1 = ق_2 = أ \frac{ك_1 \times ك_2}{ف^2}$$

وثابت الجذب قيمته صغيرة جدًّا، لذلك عندما تعوّض كُتلتك وكتلة الهاتف في القانون، والمسافة بينكما، تجد أنَّ قوة التجاذب بينكما قليلةٌ جدًّا جدًّا لا تكاد تُذكَر، مما يجعلُك لا تحس بهذه القوة الخفية بينكما.

لكن لو عَوَّضنَا كتلتيْن كبيرتيْن، -مثلًا- الأرض والقمر، لوجدنا بأنَّ قيمة قوة الجاذبية أكبر، ولذلك يدور القمر حول الأرض بثباتٍ مذهل.

أو لو عَوَّضنَا قيمة كُتلتك وكتلة الأرض، لوجدنا قيمة قوة الجاذبية حسب القانون كبيرة أيضًا بسبب كتلة الأرض الكبيرة، وذلك ما يجعلك ثابتًا على سطح الأرض دون أنْ تطير في الهواء أو تستيقظ لتجد نفسك في الفضاء!

(والحقيقة أيضًا بأنَّ أيَّ جسميْن يمتلكان طاقة معينة، أو فكرة بأنَّ الطاقة أيضًا تجذب الأشياء حسب مبدأ تكافؤ الطاقة - الكتلة، ولكنني لن أخوض في ذلك).

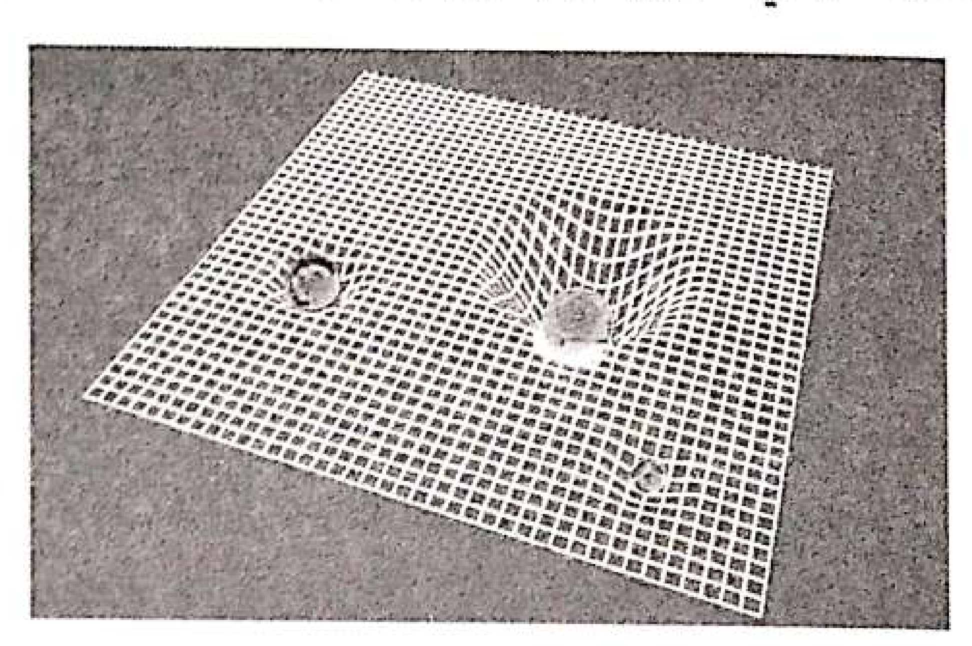
كل شيء جميل إلى الآن، وعلى درجة لا بأس بها من التوافق مع آينشتاين، ولكن هنالك مشكلة واحدة في طرْح نيوتن، وهي أننا لا نعرف ما مصدر هذه القوة الخفية القادرة على جعل جميع الأجسام التي تمتلك كتلة أنْ تجذب بعضها بعضًا، حيث إنه أخبر نيوتن في كتابه «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية» بأنه استطاع أنْ يحسب هذه القوة، لكنه لا يعرف ما مصدرها تحديدًا.

ربما قرأ آينشتاين هذا وقرّر أن يأتي دوره، ليُعرّف لنا الجاذبية بمفهوم جديد يغيّر مفهومنا عن الكون كله.

تعريف آينشتاين للجاذبية:

ما يقوله آينشتاين إنه لو أفرغنا الكون من كل شيء، كواكب ونجوم ومجرات وكل شيء مَهما كان في الكون، على ماذا سنحصل؟ ماذا سيبقى في الكون؟ ستكون إجابتك فورًا (لن يبقى شيءٌ!)، لكنها إجابة خاطئة! فالإجابة الصحيحة هي: سنحصل على **فضاء فارغ**، والشيء الغريب هو أنَّ الفضاء الفارغ هو **ليس لا شيء**، إنه شيءٌ

بخصائص حقيقية خفية كما جميع الأشياء في حياتنا، في الواقع، الفضاء حقيقي جدًّا لدرجة أنه من الممكن أنْ ينثني أو يلتوي أو يتموج، فيساعد على تشكيل الأشياء في الفضاء حولنا ويُشكِّل بنية الكون، وهنالك مفهوم خاطئ عن الفضاء إننا نعتقد أنه فقط الفضاء الخارجي خارج كوكب الأرض، ولكنه في الواقع الفضاء موجود في كل مكان. ما يقوله آينشتاين إنَّ هناك نسيجًا وهميًّا في الكون لا يمكن لأحد أنْ يراه يملأ كل مكان في الكون يُدعَى بنسيج الزمكان.



شبّه آينشتاين هذا النسيج الوهمي بقطعة قماش ذات بُعديْن فقط، البُعد الأول لها هو الأبعاد المكانية الثلاثة، والبُعد الآخر لها هو البُعد الزمني (هذا التشبيه هو فقط تصوُّر ليُقرّب لنا فكرة نسيج الزمكان).

حسنًا! وهذا النسيج نحن نُوجَد فيه، ونتسبب بانحناءٍ فيه لوجودنا فوقه، وكلما زادت كُتلتُنا زاد الانحناء في نسيج الزمكان وزادت جاذبيتُنا.

أوه! إذن لمَ كل هذا التعقيد لتفسير آينشتاين الجاذبية، لمَ لا تقول بأسلوبٍ مُبسّط: إنَّ الجاذبية هي **انحناء في نسيج الزمكان**، وتوفِّر علينا عناء الفَهم.

فمثلًا، تعمل الشمس انحناءً كبيرًا فيه بسبب كُتلتها الكبيرة، لذلك فإنَّ جاذبيتها هائلة، أما بالنسبة إلى كوكب الأرض فهو أيضًا يعمل انحناءً في نسيج الزمكان لكن أقل من الشمس؛ وذلك لأن كتلته أقل، لذلك تدور الأرض بانحنائها حول انحناء الشمس.

وهكذا يفوز تفسير آينشتاين في توضيح مفهوم الجاذبية ومقدارها باستخدام توظيف علم في الرياضيات في نظريته النسبيّة العامة، يُدعَى علم التنسورات (Tensors).

ما أريد قَوْله بأنَّ كلام نيوتن عن الجاذبية ليس خاطئًا تمامًا، بل صحيحًا على الأجسام التي تمتلك كتلة صغيرة، أما عند الكُتَل الكبيرة جدًّا مثل الشمس فلا يمكن حساب قوة جاذبيتها حسب معادلته حسابًا دقيقًا، كما أنه لا يفسّر مصدر وسبب هذه القوة باعتبارها قوة خفية وحسب!

أما آينشتاين فهو يحسب الجاذبية بدقة لجميع الأجسام التي تمتلك كُتَلًا سواء كانت صغيرة أم كبيرة وأيضًا يعطي تفسيرًا دقيقًا لمصدرها، ليقول بأنها انحناءٌ في نسيج الزمكان (في الحقيقة الموضوع أعقد من ذلك، ولكن هذه أسهل طريقة يستعملها العلماء لإيصال أفكار آينشتاين الصعبة في نظرياته التي يستصعبها الكثيرون).

أما عند حديثنا عن الجاذبية لا يمكننا أنْ نغفل عن ذكر وحشنا الأسود المخيف!

- هل تصمّم على إدخال الرعب إلى قلوبنا؟! أي وحشٍ تقصد؟
- **الثقوب السوداء، هي مخيفة لدرجة أنَّ العلماء سَمُّوه بـ «وحش الفضاء».**

ما الثُّقب الأسود؟ وكيف تكوّن هذا الوحش الطبيعي في الفضاء؟ هذا ما سنتعرّف عليه لاحقًا خلال هذا الكتاب، ما زالتْ المُتعة في أوّلها.

بدايةً، فإنَّ أهم ما أريد إخباركم به أنَّ الثُّقب الأسود هو أكثر جسم يمتلك كتلة في حجم صغير جدًّا، مما يجعله يعمل انبعاجًا وانحناءً كبيرًا في نسيج الزمكان، لدرجة أنه من شدة الانبعاج يُشوِّه نسيج الزمكان، وهذا -بالفعل- شيءٌ مخيفٌ جدًّا، حيث إنَّ الثُّقب الأسود بداخله لا يوجد لا زمان ولا مكان ولا أي شيء، وكل قوانين الفيزياء التي نعرفها تنهار داخله.

وإنْ اقتربَ أي شخص من الثُّقب الأسود بسبب الجاذبية العالية له (الثُّقب الأسود)، فستتباطأ ساعته تباطؤًا كبيرًا جدًّا، وهذا ما حصل في فيلم (interstellar).

- أوه، أخيرًا سنتحدث عن شيء غير آينشتاين، هيَّا حدّثنا عن الفيلم أكثر.
- تدور أحداث الفيلم حول شخص يُدعَى (كوبر)، سافر إلى كوكبٍ قريب من الثُّقب الأسود، حيث إنَّ هذا الكوكب كان يتأثر بانحناءٍ بل تشوّه نسيج الزمكان للثُّقب الأسود، فازداد انحناء نسيج الزمكان للكوكب بسبب قُربه من تشوه نسيج الزمكان للثُّقب الأسود، فدخل المسافر (كوبر) حدود الكوكب، وجلس فيه لساعتين فقط، وكانت كل ساعة على الكوكب بسبب الانحناء الهائل الذي يقع فيه على نسيج الزمكان تساوي 7 سنوات على كوكب الأرض، وبما أنه جلس في ذلك الكوكب ساعتين، فإنه عندما يعود لكوكب الأرض سيُصدم بمرور 14 سنة كاملة على كوكب الأرض وهو قد زاد على عمره أشهر قليلة.

لكن ما يجب أن تعرفوه أنَّ الشخص الذي تتباطأ ساعته لن يحس بأي شيء مختلف عن الذي اعتاد عليه، يعني ذلك لو أنه -مثلًا- على كوكب الأرض يريد أنْ يُحضّرَ فنجانَ قهوة، ويأخذ معه ذلك عادةً 5 دقائق، فإنه على الكوكب الآخر سيأخذ معه تحضير فنجان القهوة الزمن نفسه، حتى وإنْ كان الكوكب الآخر موجود في انحناء زمكاني كبير، فلن يشعر الشخص بتأثيرات النسبيّة إلا عندما يعود لكوكب الأرض ويرى الفرق حينها.

لذلك عندما عاد كوبر لابنته، وجد أنَّ ابنته الصغيرة قد أصبحت عجوزًا وعلى فراش الموت، وهو ما زال شابًا زاد عمره بضعة أشهر، وهي الأشهر التي أخذها في رحلته إلى ذلك الكوكب وأيضًا.. (أنوّه لك بأنَّ بطل فيلمنا مرَّ بظروف أخرى لم نتطرق إليها ساهمت في إبطاء ساعته فوق الـ 14 سنة السابقين، أنصحك بالاطّلاع على هذا الفيلم فهو ممتع ومفيد).

ومن إحدى النكات التي أقولها دائمًا في محاضراتي عن النسبيّة: إذا سئمت من وجود أشخاص معينين في حياتك، أو أردتَ أنْ تغير القرن الذي أنت موجود فيه وتذهب إلى مستقبل متقدم أكثر بعيدًا عن التوتر الحاليّ الذي تمر به، ما عليك سوى السفر بمركبة فضائية بسرعة هائلة جدًّا، أو الذهاب إلى كوكب ذي كتلة عالية يعمل انحناءً كبيرًا في نسيج الزمكان، أو أنْ يكون الكوكب نفسه موجودًا في انحناءٍ كبير في نسيج الزمكان بحيث سيتباطأ الزمن كثيرًا لديك (اعتبرها عطلة نهاية أسبوع قصيرة).

وعندما تعود لكوكب الأرض، ستجد أنَّ الكوكب قد تقدم كثيرًا، وأصبح في المستقبل، ومرَّ عليه الكثير من الزمن، مثلًا ستجد أختك الصغيرة عند عودتك قد كبرت وتزوجت وأنجبت أطفالًا وهم الآن في الجامعة، أو

أنَّ إخوتك الأطفال قد كبروا وأصبحوا رؤساء شركات مشهورين، وأنَّ السيارات أصبحت تطير (لا أحد منا ينكر أنَّ هذه تحديدًا كانت أقصى تصوراتنا عن تطور العلم في المستقبل)، وأصبحنا نستطيع الاختفاء وقتما نشاء بسبب تطور علم ميكانيكا الكم، والكثير الكثير! كل هذا وأنت ما زلت شابًّا صغيرًا زاد على عمرك بعض الأشهر أو السنوات.

إثباتات عملية على نظرية النسبيّة

لنفترضْ أننا اقتنعنا بما يقوله آينشتاين إلى الآن، لكن هل هناك ما يُدعم جرأة تصريحاته ونظرياته؟ هل يملك ما يكفي من الدلائل العلمية لإثبات صحة ما يقول؟! خاصة وأنه بعيد كل البُعد عن تصورات العقل البشري.

- بالطبع يوجد العديد من الدلائل؛ لأن معادلات نظرياته قوية جدًّا في النسبيّة الخاصة والعامة، وأيضًا أُثبِتت معادلات النسبيّة العامة سنة 1919م عند قيام العالِم «إدنغتون» بتجربة ما في جنوب إفريقيا، وهنا تحديدًا بدأت شُهرة آينشتاين (سأتحدث عن التجربة لاحقًا في الفصول القادمة)، ولكنني سأتحدث الآن عن تجربة بسيطة عملية حدثت سنة 1972م، إذ أحضر العلماء ساعتيْ ذرة سيزيوم متزامنتيْن، ووضعوا واحدة على سطح كوكب الأرض في مكان متوسط الارتفاع، والأخرى وضعوها في طائرة تدور حول كوكب الأرض في سمائها كالطائرات العادية، وجعلوا الطائرة تطير حول كوكب الأرض لساعات طويلة (أكثر من 20 ساعة)، وعندما عادت المركبة إلى سطح الأرض وجدوا أنَّ هنالك فرقًا في قراءة الساعتيْن.

كيف ذلك وقد كانوا متزامنتيْن قبل سفر الساعة الأخرى في الطائرة؟

- إنها تأثيرات النسبيّة الخاصة والعامة، لأنَّ الطائرة كانت تتحرك بسرعة معينة حول كوكب الأرض، فقد تباطأ الزمن حسب النسبيّة الخاصة؛ لأن الأبعاد الأخرى قد أخذت من بُعد الزمن، وبما أنَّ الطائرة كانت تحلّق بعيدًا عن مركز الجاذبية (مركز الأرض)، فهذا يعني أنَّ الزمن يتحرك لديها أسرع من الساعة الموجودة على كوكب الأرض، يعني تتباطأ ساعتها بسبب الحركة، وتسرع بسبب البُعد عن مركز الجاذبية، وكل تأثير يكون مختلفًا عن الآخر، وبهذا يكون هنالك اختلاف في قراءة كلٍّ من الساعتين عند عودة الساعة الموجودة على الطائرة لسطح الأرض.
- وكما تحدثنا مسبقًا عن نظام الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض بسرعات مختلفة، إذ إنه دون تطبيق نظرية النسبية على ساعات الأقمار الصناعية سيكون هنالك خطأ في أنظمة الملاحة الأرضية GPS والذي قد يصل إلى 10 كم، لأن المسافة تساوي السرعة مضروبة في الزمن والزمن نسبي ويتمدد، لذلك نقوم بالتعديل المستمر على ساعات الأقمار الصناعية التي تتأثر بتأثيرات النسبية لتكون متزامنة مع ساعاتنا على كوكب الأرض.

وغيرها العديد من التطبيقات العملية..

بهذا يُمكننا تلخيص الفصل في نقاط سريعة ومُختصَرة كالتالي:

- هنالك 4 أبعاد تُلخصها كلمة **زمكان** وهي أبعاد المكان الثلاثة وبُعد الزمن، وهذه الأبعاد تؤثر ببعضها وتتشارك مع بعضِها بعضًا.

- الحركة في المكان تؤثر على سير الوقت وبطئه.
- كلما اقترب الشخص من مركز الجاذبية، تباطأ الزمن في ساعته.
- الجاذبية حسب المفهوم الأدق والأصح تعني الانحناء في نسيج الزمكان، وكلما زادت كتلة الشيء زادت قدرته على عمل انحناء أكثر في نسيج الزمكان، مما يزيد من جاذبيته.

ما أقصده، إنَّ الزمن أصبح مفهومًا شخصيًّا في الفيزياء بدرجة كبيرة، وأصبح يُنسَب للذي يقيسه، فهل هذا يعني أنَّ رواد الفضاء هم عبارة عن أشخاصٍ مسافرين عبر الزمن؟ خاصةً أولئك الموجودون في محطة الفضاء الدولية، حيث يبقون في حالة دوران حول الأرض بسرعات عالية ولفترات طويلة، هل مِن المعقول أنَّ المسافرين عبر الزمن هم أناس يمشون بيننا؟

- صحيح، رواد الفضاء يمكن اعتبارهم مسافرين عبر الزمن للمستقبل، مع أنَّ سرعتهم قليلة جدًّا بالمقارنة مع سرعة الضوء، أو قليلة جدًّا لتمكّنهم من السفر عبر الزمن لفترات طويلة. في سنة 2016 تم تصنيف رائد الفضاء (سيرغي كريكاليف) بأنه أعظم مسافر عبر الزمن، حيث أمضى (803) أيامٍ في محطة الفضاء الدولية التي تتحرك بسرعة عالية تساوي 26,353 كم/ ساعة، وبسبب سرعته العالية وبُعده عن مركز الجاذبية (مركز الأرض) جعل هذا زمنه يتحرك نحو المستقبل بنسبة 48 ثانية، يعني أقل من دقيقة (وهو أعظم مسافر عبر الزمن من كوكب الأرض حتى عام 2016).

وهذا –بالطبع- ليس فارقًا كبيرًا وظاهرًا لنا، ولكننا لو زدنا سرعة محطة الفضاء الدولية إلى سرعة قريبة من سرعة الضوء وجعلناها تتحرك بسرعة عالية (125 مليار كم/ ساعة مثلًا)، مع حساب تغير الجاذبية لكوكب الأرض، سيكتشف أنه كبُر 12 شهرًا فقط، أما كوكب الأرض فقد تقدم 10 سنوات في المستقبل، إنه لأمرٌ مريبٌ حقًّا!

لكن العجيب ليس في ذلك، بل هو ما سألقيه على مسمَعك الآن، بأنه هنالك أشياء قد سافرت بهذه السرعة العالية من قِبَل الإنسان، حيث استطاع أنْ يُسرّع جسيمات صغيرة جدًّا مثل الإلكترونات أو البروتونات داخل مسرّعات الجسيمات بسرعات عالية قريبة من سرعة الضوء، حيث إنَّ بعض المسرّعات بإمكانها تسريع جسيمات إلى سرعة تصل 99,999999999 من سرعة الضوء.

ومن أكبر المسرّعات التي صممها الإنسان هو المصادم الهادروني الكبير المُسمَّى بـ LHC (Large Hadron Collider)، الذي اعتُبِر أكبر وأخطر جهاز صممته البشرية حتى الآن، بحيث يسرّع الجسيمات بسرعات عالية جدًّا داخل حلقة قطرها 27 كم بسرعات قريبة من سرعة الضوء، لتصطدم هذه الجسيمات مع بعضِها بعضًا، وعند اصطدامها لاحظ العلماء نشوء جسيمات أصغر تُعتَبر مثل شظايا ناتجة عن اصطدام الجسيمات، حسابيًّا، وباستخدام الرياضيات، فإنَّ هذه الشظايا يجب أنْ تتحلل بعد مدة قصيرة جدًّا (أقل من ثانية.. بل فقط لجزء بالمليار من الثانية)، ولكن ما وجدوه على أرض الواقع في المصادم الهادروني الكبير أنَّ هذه الجسيمات تأخذ مدة أطول حتى تتحلل، مما يعني أنَّ هذا الجزء بالمليار من الثانية تمدد بالنسبة إلى زمننا، حيث إنَّ ساعاتها تباطأت أكثر، وأصبحت تكّاتها أطول من تكّاتنا، عدا عن أنَّ البروتونات نفسها قد حصل تمدد في زمنها بسبب سرعاتها العالية

جدًا، وهكذا أصبح المصادم الهادروني الكبير فعليًا آلة زمن جديدة للجسيمات الصغيرة، وهو **أسرع آلة زمن صنعها الإنسان على كوكب الأرض**، ولكن للأسف هي فقط للجسيمات الصغيرة جدًا.

تغييرات أخرى عند زيادة سرعة الجسم

كما علمنا كلما زدت سرعتك تباطأت ساعتك أكثر، وأيضًا، من الملاحظات المُهمة على زيادة السرعة في النسبيّة، **زيادة كتلة الشخص خلال زيادة سرعته**، وتُبين الحسابات كيف يمكن أن تتغير كتلة الجسم بازدياد سرعته، فإذا كان جسم يتحرك بسرعة 240000 كيلومترٍ في الثانية، ستزيد كتلته إلى 1,6 من كتلته في حالة السكون.

أما في السرعات العادية التي نتحرك بها بسياراتنا مثلًا أو في أثناء مشينا، فهي سرعات بطيئة، ومن الطبيعي أنه عند تعاملنا مع سرعات أقل بكثير من سرعة الضوء أنْ نعتبر أنَّ كتلتنا ثابتة لا تعتمد على السرعة. وقد اختُبرت زيادة كتلة الإلكترون مع زيادة سرعته عمليًا، وثبتت تلك الحقيقة، فقد أصبح مُعتادًا تسريع الإلكترونات والأنوية المشحونة إلى سرعات قريبة من سرعة الضوء. وصلنا إلى تسريعها في بعض معجّلات الجسيمات إلى سرعة 99,9999 ٪ من سرعة الضوء، ويمكن للفيزيائيين مقارنة كتلة الإلكترون الساكن بكتلة الإلكترون السريع. واتفقت نتائج التجارب على أنَّ الكُتلة تزداد بزيادة سرعة الجسم طبقًا لمعادلات تُدعَى بمعادلات لورينز، ويتفق ذلك تمامًا مع نظرية النسبيّة.

وأيضًا **زيادة السرعة تقلل من طول الجسم الذي يتحرك**، وكلما زادت سرعته تقلص طوله أكثر. وبالطبع هذا لا يؤثر في الأجسام التي تتحرك بسرعات قليلة مثلنا في مشينا أو حركتنا بالسيارة، بل يظهر بشكل واضح عندما نتحرك بسرعات هائلة.

ملاحظة مهمة جدًّا: هنالك آراء لبعض الأشخاص بأنَّ السرعة لا تؤثر على تمدد الزمن بعكس ما تحدثنا به خلال هذا الفصل، بل فقط الجاذبية تؤثر على الزمن على اعتبارات معينة، وأيضًا فإنَّ بعض المفاهيم الأخرى التي لن أخوض فيها، ويمكنك تصفّح الإنترنت لمعرفة المزيد حولها، لكن ما تطرّقت إليه هنا هو ما اتفق عليه غالبية علماء الفيزياء المشهورين، وللتفصيل أكثر في هذا الفصل يمكنكم الاستفادة من المصادر التي وضعتُها في نهاية الفصل.

مفارقة التوأمين (Twin Paradox)

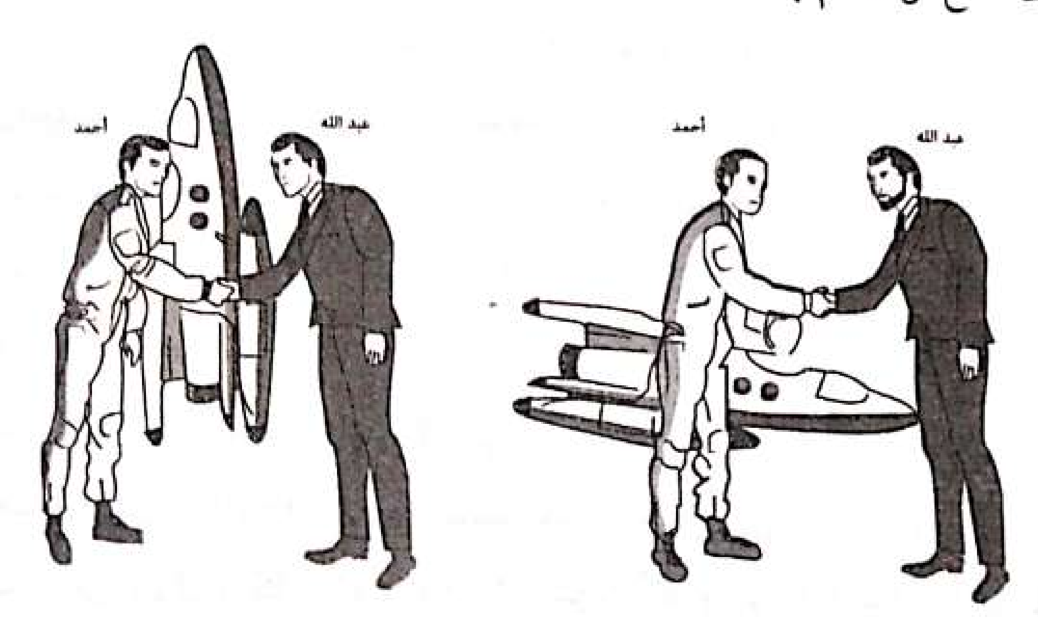
ولا ننسى أن نتحدث عن **مفارقة التوأمين** (Twin Paradox)، وهي إحدى المفارقات المشهورة في نظريّة النسبية التي تقول: بأنه إذا افترضنا وجود توأمين مثلًا (أحمد) و(عبد الله) على سطح كوكب الأرض وكان عمر كل منهما 20 عامًا فأعطينا كلًّا منهما ساعةً دقيقة، والساعتان مضبوطتان على التوقيت نفسه بدقة عالية.

فإذا افترضنا أنَّ أحدهما وليكُن التوأم (أحمد) مثلًا قرر السفر إلى الفضاء بمركبة فضائية تسير بسرعة 91٪ من سرعة الضوء بحيث تكون سرعته هي 273 ألف كيلومتر/ ثانية، علمًا أنه قد استغرقت رحلته 5 سنوات ذهابًا ورجوعًا أي 2.5 سنة ذهابًا ومثلهم للرجوع إلى الأرض وذلك طبقًا لساعته التي يحملها معه فمِن الطبيعي أن يكون عمره لحظة عودته إلى الأرض 25 عامًا.

والسؤال هنا كم سيجد عمر أخيه التوأم (عبد الله) عند عودته إلى الأرض؟

والإجابة هي حسب معادلة تمدد الزمن لآينشتاين: يكون عمر التوأم (عبد الله) هو 32 عامًا وليس 25 عامًا مثل أخيه التوأم (أحمد)؛ والغريب

في هذا أن أحمد لن يحس خلال رحلته في الفضاء بأن زمنه يتمدد ويتباطأ، بل سيتمكن خلال وجوده في المركبة الفضائية من القيام بما يريده بسهولة؛ فإن أراد صنع القهوة مثلًا فإن كان يأخذ هذا معه 5 دقائق على كوكب الأرض فسيأخذ معه 5 دقائق أيضًا وهو في المركبة الفضائية التي تتحرك بسرعات عالية في الفضاء، وهكذا لباقي الأمور الحياتية التي يمكنه القيام بها خلال وجوده في المركبة الفضائية؛ ولكن الصدمة ستكون عندما يعود أحمد إلى كوكب الأرض ليرى توأمه قد شاخ أو تقدم بالعمر أكثر منه وهو ما زال شابًا يافعًا.



صورة توضح مفارقة التوأمين لتوأمين قد سافر أحدهما إلى الفضاء بسرعة عالية وعاد وفرق العمر بين التوأمين.

هنالك العديد من الأشخاص ممن يدّعون أنَّ هنالك مشكلة من حدوث اختلاف حقيقي في عمر التوأمين وهي مشكلة **التماثل (Symmetry)**، فكما يقول البعض أنَّ كلًا من التوأمين سينظر إلى الآخر على أنه مسافر بالنسبة إليه؛ بحيث سيظهر بالنسبة إلى التوأم (عبد الله) عندما يسافر التوأم (أحمد) إلى الفضاء أنَّ (أحمد) قد سافر وابتعد بمركبته للفضاء بسرعة ثابتة تساوي 273 ألف كم/ ثانية، وأنَّ (عبد الله) وكوكب الأرض

قد بقيا ثابتين وهذا ما عرفناه جميعًا من بداية القصة، ولكن لو نظرنا إلى القصة من وجهة نظر التوأم (أحمد) سيكون العكس؛ بحيث لو نظر التوأم (أحمد) من خارج مركبته الفضائية فسيرى أنّ التوأم (عبد الله) وكوكب الأرض يبتعدان عنه بسرعة 273 ألف كم/ ثانية وأنه هو ثابت؛ وهذه هي مشكلة التماثل؛ بحيث نحتاج إلى تطبيق تمدد الزمن على الحالتين في كل مرة، وهكذا سيظهر لنا عند حل معادلات آينشتاين وتمدد الزمن في الحالة الثانية أن أحمد ما زال شابًا وأن عبد الله قد كَبُر أكثر منه، أما في الحالة الأولى فسيظهر لنا عند حل المعادلات أنّ عبد الله ما زال شابًا وأحمد قد كَبُر أكثر منه، وهذا يلغي فرق العمر ويلغي وجود تمدد للزمن؛ لأن كليهما يتمدد له الزمن بالنسبة إلى الآخر وهذا يجعل فكرة تمدد الزمن لا معنى لها، وهنا ظهرت كلمة مفارقة التي تمثّل مفارقة التوأمين. لكن في الحقيقة لا توجد مفارقة بالمعنى الحقيقي، لأننا جميعًا نعلم أنه يوجد تمدد في الزمن من الحركة بسرعة معينة من التجارب العمليّة العديدة التي تثبت ذلك والتي ذكرت بعضها في هذا الفصل، لذلك فقد حاول تفسير مفارقة التوأمين العديد من العلماء. بدءًا من بيول لانگفان عام 1911، **بقوله أنه لا توجد مشكلة التماثل بالأصل وأنه يوجد تمدد بالزمن بالفعل**؛ بحيث لا بدّ أن التوأم (أحمد) قد خضع لتسارعات وتباطؤات في رحلته، وأنه لم يتحرك بسرعة ثابتة كما اعتقدنا، وبهذا لن تكون مشكلة التماثل موجودة ولن تكون هناك مفارقة بالأصل (هنا استُخدمت نظرية النسبية العامّة التي تعتمد اعتمادًا أساسيًا على **التّسارع** لحل هذه المفارقة وأنه سيُحْسَب فارق العمر من خلال معادلات نظرية النسبية العامة وليس النسبية الخاصة التي استخدمناها بسبب اعتماد النسبية العامة على التسارع في معادلاتها والتي لها شكل آخر من المعادلات التي تحسب فارق العمر اعتمادًا على

التسارع الذي مرّ به أحمد). وهنالك طريقة أخرى لحل مشكلة التماثل والتي جاء بها ماكس فون لاوه في عام 1913 وهي بإبقاء فكرة أنَّ التوأم (أحمد) سيبقى يتحرك بسرعة ثابتة في الفضاء وسنحل مشكلة التماثل من خلال نظرية النسبية الخاصة نفسها بكونه يتحرك بسرعة ثابتة، بحيث ستُحَل المفارقة عن طريق (**التبديل بين الإطاريْن**) فعندما يقرر التوأم أحمد العودة إلى كوكب الأرض سيتسارع حول كوكب أو للجهة الأخرى للانعطاف والعودة إلى كوكب الأرض، وهكذا يتغير الإطار الموجود فيه، بحيث يصبح للتوأم أحمد إطاران: أحدهما لدى ابتعاده في الرحلة والآخر لدى عودته بسبب انعطافه وتغيير سرعته خلال انعطافه؛ وهكذا سيظهر لنا أنه هو مَن ترك كوكب الأرض، وعلى ذلك فإن التبديل بين الإطاريْن كان سببًا في التفريق بين مَن هو على كوكب الأرض ومَن هو مسافر في الفضاء، وهو السبب في حدوث الفرق بين العمر للتوأمين في التفسير الثاني، يمكنكم قراءة المصدر السابع الذي أرفقته بالنسبة إلى هذا الفصل للقراءة أكثر عن مفارقة التوأمين وحلها.

ملخص أخير لنظرية النسبية:

(هذا الملخص كتبتُه على صفحة الفيزياء المُسلية، وقد نالَ إعجاب الكثير، لذلك.. إنْ أردتَ اختصار المذكور سَلَفًا، ما عليك سوى قراءة هذا الملخص):

ما نظرية النسبيّة العامة والنسبيّة الخاصة؟

إنْ كنتَ من مُغرمي أفلام الخيال العلمي (science fiction) الأجنبية، فإنك لا بُد وأنْ شاهدتَ حلقات (star trek)، حيث توجد الكثير من المصطلحات العلمية، مثل: نسيج الزمكان، الثقوب السوداء، أو السفر عبر الزمن، وغيرها من المصطلحات العلمية التي تعود في

الأساس إلى نظرية النسبيّة لآينشتاين، أو لأحد تطبيقاتها التي سنتحدث عنها جميعها.

في عام 1905 نشر الفيزيائي الألماني «ألبرت آينشتاين» نظريته التي دُعيَت بنظرية النسبيّة الخاصة، ثم أتبعها عام 1916 بنظرية النسبيّة العامة، فكانت هاتان النظريتان بدايةً لعصرٍ جديد، غيَّرَ وجهَ العالم الذي نعيش فيه.

فقد غيرَتْ نظرية النسبيّة من الفيزياء الكلاسيكية المعتمِدة على مفهوم السير لإسحاق نيوتن، وأدت المفاهيم الجديدة في نظرية النسبية إلى ظهور علوم جديدة كُليًا، مثل علم الكونيات والفيزياء الفلكية.

ما النظرية النسبيّة؟

النظرية النسبيّة (the theory of relativity): هي نظرية فيزيائية (طبيعية) تبحث في المواضيع التي تبحثُها الفيزياء العادية، كالزمان، المكان، السرعة، الكتلة، الجاذبية، والتسارع، ولكنها تنظر إلى هذه الأمور بوجهة نظر مُختلفة تمامًا.

ما الفرق بين نظرية النسبيّة الخاصة والنسبيّة العامة؟

النسبيّة الخاصة: تبحث فقط في الأجسام أو الأنظمة التي تتحرك بسرعةٍ ثابتة بالنسبة إلى المُراقب، أيْ التي تتحرك حركة مُنتظمة دون تسارع، وأنَّ سرعة الضوء في الفراغ مُستقلة عن حركة جميع المُراقبين.

أما النسبيّة العامة: فإنها تبحث في الأجسام التي تتسارع بالنسبة إلى المراقب، أيْ الأجسام أو المجموعات التي تتحرك بسرعةٍ مُتزايدة أو مُتناقصة.

الأبعاد في نظرية النسبيّة

في الفيزياء الكلاسيكية، نستخدم الأبعاد الثلاثة فقط، أي الأبعاد المكانية، وهي الطول والعرض والارتفاع، وهذا ما كان الجميع يعتقدُه، بينما آينشتاين أوجدَ بُعدًا رابعًا، فقال: إنَّ الكون الذي نعيش فيه هو ذو أربعة أبعاد لا ثلاثة كما تقول الفيزياء الكلاسيكية؛ وهذه الأبعاد هي الطول والعرض والارتفاع والزمن، وسُمِّيَ ذلك باسم (الزمكان).

إنَّ تخيُّل عالمٍ بُبعدٍ واحد أو بُعدين أو حتى ثلاثة أبعاد أمرٌ سهلٌ، أما عالم بأربعة أبعاد كما تقول النسبيّة أننا نعيش فيه، كيف يمكن أنْ نتصورَه؟ وكيف يمكنُنا أنْ نرسمَه؟ وكيف نرسم الزمن كبُعدٍ رابع في صورة؟ كيف نُصوّر الزمنَ أساسًا ما دُمنا لا نراه؟

إذا كانت النسبيّة هي وجهة نظر في هندسة الكون باعتبارِه مُكوَّنًا من أربعة أبعاد، معنى ذلك أنَّ لها مفاهيم وحساباتٍ خاصة بها، وحساباتُها أشدّ تعقيدًا من حسابات الفيزياء الكلاسيكية التي ترى هندسة الكون من ثلاثة أبعادٍ فقط.

المكان في نظرية النسبيّة

النظرية تقول: ليس في هذا الكون مكانٌ مُطلَق، فإذا رأيتَ أنَّ هاتفك ثابتٌ في يدِك، وأنت نفسك ثابتٌ، فالأمر نسبيّ، فالقارئ والهاتف ثابتان نسبيًا لبعضهما بعضًا وبالنسبة إلى الأرض التي هما عليها، أما في الواقع.. فهُما متحركان بالنسبة إلى الكون.

فعندما بدأتَ بقراءة هذه الجملة.. كنتَ في مكانٍ مُعين من الكون، ولكن الآن عند الانتهاء من قراءتها.. فأنت في مكانٍ آخر قد يبعُد عن الأول مئات الأميال بالنسبة إلى الكون!

نحن فعليًا مسافرون في هذا الكون على ظهر مركبة فضائية اسمها الأرض، مُنطلقة بسرعة خارقة في هذا الفضاء الواسع، محكومة بقوانين المجموعة الشمسية.

الزمن في النسبيّة

إنَّ مفهوم نسبية الزمن يُشبه بعضَ الشيء نسبية المكان، إذ تقول النسبية إنَّ الزمن نفسه لا يجري في جميع أنحاء الكون بالتساوي كما قال نيوتن، بل هو يطول ويقصُر حسب ظروفٍ مُعينة وأمكنة مُعينة.

ويقول آينشتاين بأنَّ الزمن يطول ويقصُر تِبعًا لِعامليْن، الأول: السرعة، وهذا ما يبحثُه في النسبية الخاصة، والثاني: الكتلة، وهذا ما يبحثُه في النسبيّة العامة.

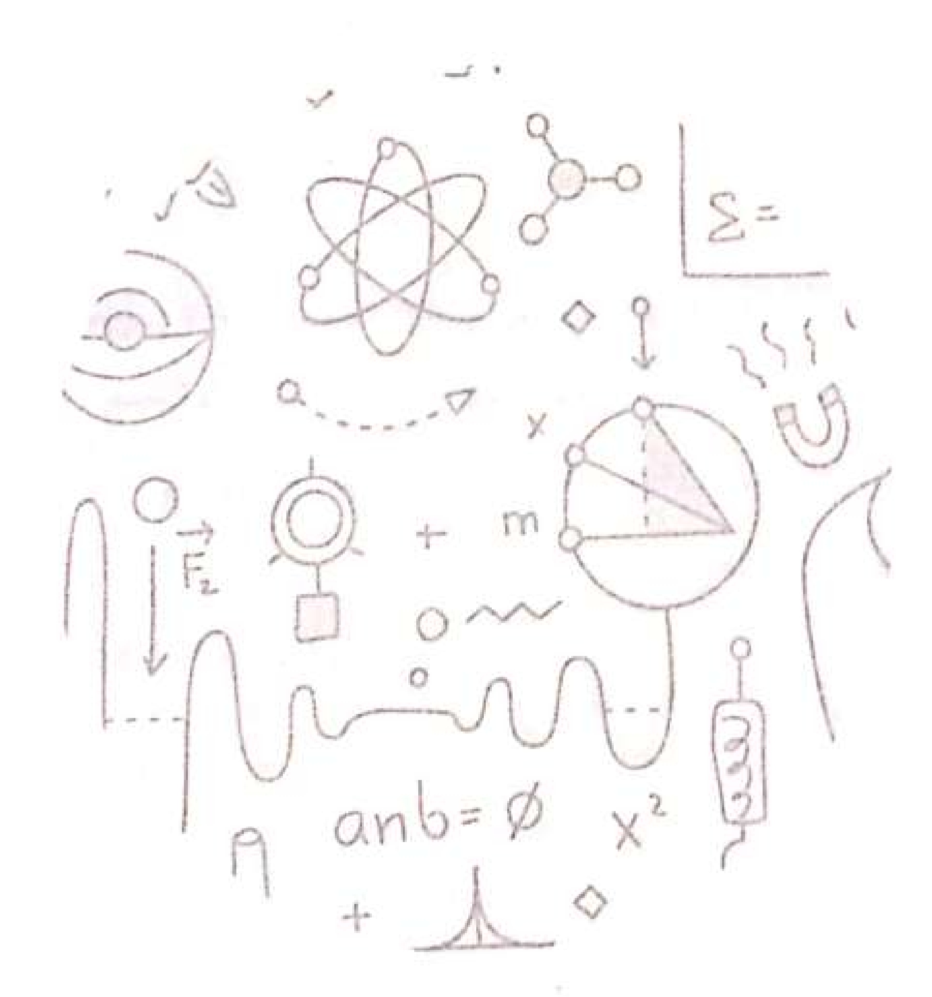
فالزمن يتباطأ حسب السرعة، وكلما زادت السرعة زاد التباطؤ، وعند الوصول إلى سرعة الضوء يكون الزمن يساوي صفرًا.

وأيضًا الزمن يسير ببطءٍ عند الكُتَل الكبيرة، فعند حدوث حادث في هذا الكون.. قد يكون في الماضي بالنسبة إلى مُراقِب، وفي الحاضر بالنسبة إلى مُراقبٍ آخر، وقد يكون مستقبلًا بالنسبة إلى مُراقبٍ ثالث!

إذًا.. اختلف الزمن بالنسبة إلى المُراقبين باختلاف أماكنِهم، وهذا ما شرحتْه نظرية النسبيّة، وبذلك غيرَت نظرية النسبيّة من مفهوميْ الحركة والزمن المُطلق عند نيوتن، فأصبحتْ الحركة نسبية، وتغيَّرَ مفهوم الزمن من كوْنه مُطلقًا ويسير إلى الأمام دائمًا، إلى كوْنِه نسبيًّا، وجعلتْه بُعْدًا رابعًا يُدمَج مع الأبعاد الثلاثة المكانية، أي الزمكان.

المصادر:

- The Fabric of the Cosmos Book\ by Brian Greene.
- Fabric of the Cosmos videos\ by Brian Greene.
- كتاب الكون الأحدب/ عبد الرحيم بدر.
- What's Time – Wikipedia.
- The Order of Time Book\ by Carlo Rovelli.
- The Physics of Time Book\ by Richard A. Muller.
- Special Relativity Book \ by Anthony French.



الفصل الثاني

مقدمة إلى الثقوب السوداء
(برمودا الفضاء)

2

"يقال أنّ الحقائق في بعض الأحيان تكون أغرب من الخيال، وهذا يظهر عند دراسة الثقوب السوداء. الثقوب السوداء هي أغرب من أي شيء حَلمَ به كتّاب الخيال العلميّ".

ستيفن هوكينغ (1942-2018)

هل سمعتَ يومًا عن مثلث برمودا؟!

دعني أخبرك القليل عنه، هو مكان يوجد في الجزء الغربي من المحيط الأطلسي، تدور حوله شائعات غير مؤكدة منذ مئات السنين بأنه مكانٌ مُوحشٌ مُخيفٌ، يبتلع كلَّ ما قد يقترب منه، فتختفي فيه السفن والطائرات في ظروف غامضة! اختفاءً بلا عودة! لكن هذا ليس موضوعَ حديثنا، إنما شيءٌ مُشابه له في الرهبة والغموض، لكنه ليس على الأرض، إنما يقطُن في الفضاء الرحب، لذا سأطلق عليه (برمودا الفضاء).

ما هذا الشيء؟ وهل حقًّا هو يستحق هذا الاسم؟

- أنت بنفسك مَن ستقرر ذلك بعد أنْ أكشف لك عن بعض مكنوناته.

تحدثنا في الفصل الأول عن (الثقوب السوداء)، وعرفنا أنها لا تحني نسيج الزمكان فقط، بل تمزقه أيضًا، لذا سمَّاها العلماء بـ(وحش الفضاء). لنلق نظرةً من كثب على هذا الشيء الذي تعددت مسمياته...

بدايةً، إنَّ الثَّقب الأسود هو **جسم أو منطقة من الفضاء** تكون الجاذبية عنده قوية جدًّا، ليس بمقدور أيّ أحد أنْ يهربَ من نطاقه، مَهما فعلت.. لن تستطيع الهرب منه إذا اقتربتَ من حدوده، حتى الضوء بسرعته الهائلة بمجرد اقترابه من تلك الحدود فإنه لن يستطيع الفرار منها، وسيبتلعه الثَّقب الأسود المتوحش، ولهذا يقال بأنَّ **سرعة الإفلات Escape velocity** (وهي السرعة اللازمة للإفلات والهروب من الثَّقب الأسود عند الاقتراب من حدوده) **تفوق سرعة الضوء**، بمعنى أنه لا يمكن لأي شيء أنْ يهرب من الثَّقب الأسود، حتى الضوء الذي يُعتبر أسرع ما في الكون.

تاريخ مصطلح الثَّقب الأسود

صاغ الفيزيائي **«جون ويلر»** مصطلحَ الثَّقب الأسود **للمرة الأولى** عام 1968، ولكن لنفهم كيف وصلنا إلى هذا المصطلح المرعب **تعالوا** نجوب أعماق التاريخ.

اقترحَ عالِم الفيزياء الإنجليزي **«جون ميتشل»** فكرة وجود الثقوب السوداء للمرة الأولى بأسلوبٍ بسيطٍ في بداية القرن الثامن عشر قرابة عام (1724-1793)؛ إذ تحدث عن إمكانية أنْ تنضغط مادة ما انضغاطًا كبيرًا إلى حد معين يصبح عنده الجاذبية لسطح المادة هائلة لدرجة أنها تبتلع كل شيء يقترب منها حتى الضوء.

طرح هذا العالم سؤالًا عبقريًا، هل من الممكن أنْ يوجد جسم في الفضاء يقوم بابتلاع كل شيء يقترب منه؟ وقبل كل ذلك، فإننا نعلم بأنه كلما كبُرتْ كتلة أي جسم زادت صعوبة الإفلات والهرب منه، فهل من الممكن وجود نجم ضخم جدًا إلى الحد الذي يجعل أمر هروب أي شيء منه أمرًا مستحيلًا حتى الضوء! لو حصل ذلك حقًا فإنه سيقوم بابتلاعه، وسنراه سوادًا لا أكثر، وسمَّى هذه الأجسام الغريبة والمخيفة بـ النجوم السوداء.

هنا أُذكّرك بآلية رؤيتنا للأشياء؛ إذ تتم عملية الرؤية **عن طريق انعكاس الضوء الواصل إلى سطح الشيء إلى أعيننا**، عندما تنظر إلى الكرسي، فإنَّ الضوء الذي يصل إلى الكرسي من المصباح أو غيره سينعكس إلى عينيك فتتمكن من رؤيته. بمعنى.. دون حدوث عملية الانعكاس للضوء إلى عينيك فإنَّ الرؤية لن تحدث، وبما أنَّ الثَّقب الأسود يبتلع الضوء.. فلن ينعكس أي ضوء منه إلى أعيننا عند النظر إليه، وهكذا سنراه أسود دائمًا.

وكانت كل هذه التخيُّلات للعالِم «جون ميتشل» مبنية على معادلات نيوتن! بما يعني أنَّ الأساس الذي اعتمده قوي جدًّا، لكن في ذلك الوقت.. لم تكُن قد عُرفت قيمة سرعة الضوء بعد، وهذا شكَّل معضلة أمام العالِم جون ميتشل، حيث إنَّ نظريته بخصوص ابتلاع الضوء تعتمد على سرعته في محاولته للإفلات من الثُّقب الأسود، في الوقت الذي اعتبر فيه نيوتن أنَّ **سرعة الضوء هي سرعة عالية جدًّا جدًّا لدرجة أنه كان يعتبرها لا نهائية لحظية.**

- ماذا يعني ذلك؟ لم أفهم بعد.
- يقول نيوتن بأنه عندما نضيء المصباح، فإنَّ الضوء الذي ينبعث منه يصل فورًا إلى المكان الذي توجَّه له، دون أنْ يستغرق أي زمن ليصل إلى أي مكان لأن سرعة الضوء هائلة جدًّا جدًّا.

لكن جميعنا نعلم أنَّ هذا كلام خاطئ تمامًا! فالضوء يأخذ زمنًا لينتقل من مكانٍ إلى آخر، ويمتلك سرعة محددة وليست سرعة لا نهائية تقريبًا كما يقول، وهذه كانت مشكلة جون ميتشل في معادلاته، أنه لم يكُن يعرف ماهية سرعة الضوء، أو حتى قيمتها وكيفية حسابها.

بالمقابل.. فإننا لا نستطيع إنكار أنَّ ما قاله العالِم جون ميتشل من ناحية علمية رياضية وبالمنطق الفيزيائي شيءٌ ممكنٌ جدًّا.

بعد 13 سنة تقريبًا، أصدرَ عالِم رياضيات مشهور يُدعَى بالعالِم «**بيير سيمون لابلاس**» كتابه الشهير باسم «توضيح نظام العالم»، والمضحك هنا بأنه قد طرح في هذا الكتاب سؤالًا لقرّائه بأنه **هل هناك إمكانية فعلية لوجود النجوم السوداء؟** وبقي يطرح هذا السؤال في عقله وفي كتابه «توضيح نظام العالم» في طبعته الأولى والثانية أيضًا،

إلى أنْ أصابه اليأس، واستسلم لحقيقة عدم وجود نجوم سوداء، وحذف هذا السؤال من الطبعة الثالثة من كتابه.

وبعد عشرات السنوات.. عاد هذا السؤال ليُطرَح مجددًا، وأخيرًا تمكّن عالِم ألماني يُسمَّى **كارل شوارزشايلد** من إيجاد حلٍّ غريب استنتج منه وجود الثقوب السوداء.

بفضل هذا العالِم بدأت الثقوب السوداء تأخذ شكلها الحديث بشكل رياضي حقيقي في المدة (1873-1916)، عندما استخدم نظرية العالِم آينشتاين المشهورة والتي عرفناها -نظرية النسبيّة العامة-، لمعرفة ما يمكن أنْ يحدث إذا تم ضغط كتلة أي جسم ضغطًا كبيرًا، بحيث تصبح الكتلة مضغوطة في نقطة بلا أبعاد، أي صفرية الأبعاد «Zero dimensions». وسمَّى هذه النقطة التي تحتوي كل الكتلة والناتجة عن ضغط الجسم فيها «بالنقطة المتفردة Singularity».

ولم يتوقف العالِم شوارزشايلد عند هذا الحد، بل أيضًا اكتشف أنه توجد حول المادة المضغوطة «النقطة المتفردة» منطقة كروية، بحيث إذا اقترب أي شخص منها سيختفي اختفاءً تامًّا، ولن يعود إلى كوننا الطبيعي أبدًا، وتُعرف هذه المنطقة الكروية حول النقطة المتفردة **بـأفق الحدث** (Event Horizon)، نظرًا لأنه لا يمكن معرفة أي حدث سيحصل لأي شيء يدخلها من قِبَل أي شخصٍ يراقب من خارج هذه المنطقة.

تضارُب آراء العلماء هذا مُضحك بعض الشيء، أتعلمْ؟ يُذكّرُني بمنازعاتي مع أشقائي في بعض الأحيان، جميعُنا قد نكون نتحدث عن الشيء نفسه بالضبط، ولكن لكلٍّ منّا طريقتُه الخاصة في التعبير عن آرائه وأفكاره، لكن الأهم أننا نصل إلى النتيجة نفسها، وهي المصلحة العامة للجميع.

أليس هذا -بالفعل- صعب التصديق! عَجَبًا لكوْننا هذا المليء بالغرائب! وإنْ كنتَ تظن بأنني أقول أشياء غريبة ولا تُصدَّق، دعني أخبرك بأمرٍ ما: إنَّ ما قاله هذا العالِم لم يكُن خيالًا أو محض افتراضات، ولكنه مبني على حسابات علمية رياضية، ولكنّ أنفسَكم لن تَكُفَّ عن قوْل إنَّ هذا شيءٌ لا يُعقل، حتى لو أثبتتْه الحسابات الصحيحة، فمِن الصعب وجود شيء ذي كتلة هائلة يتم ضغطها في نقطة، أو أنه ليس صعبًا بل مستحيلًا! أقرب ما يمكن أنْ نشبّهه بـ «فيل» تريد أنْ ترغمه على الدخول في جحر نملة!

مَهما حاولت وضغطت هذا الفيل بأقصى قوة ممكنة، هل ستستطيع أنْ تدخله إلى هذا الثقب الصغير المجاور لحائط منزلك؟ هل تستطيع أنْ تنادي جيرانك وتقنعهم بأنه قد حدثت معجزة، وأنه يوجد فيل داخل جحر النملة بجانب حائط غرفتك!

حتمًا الأمر لا يُصدَّق، وليس بمقدور أحد أنْ يعطي تفسيرًا واضحًا لما يدور في الفضاء!

لذلك.. لم يحظَ شوارزشايلد آنذاك باهتمام كبير، ولم تلقَ حساباته ضجة تُذكَر في ذلك الوقت، إلا أنَّ الاهتمام قد أُثيرَ في نفوسهم عندما وصف العالِم المشهور روبرت أوبنهايمر Robert Oppenheimer كيف يمكن صناعة الثقوب السوداء في الواقع في كوننا الحقيقي! وهنا كانت صدمة المجتمع العلمي!

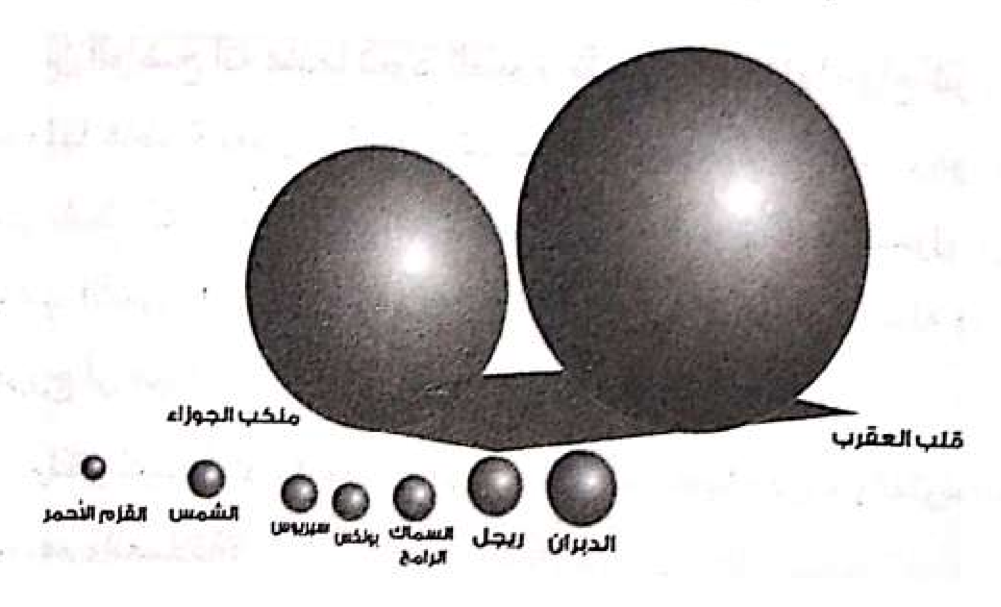
اشتهر العالِم روبرت أوبنهايمر بفكرة القنبلة الذرية (الانشطارية)، في عام 1939م، عندما كان طالبَ دراساتٍ عُليا، وكان يرأس أيضًا مشروعًا يُدعَى بمشروع مانهاتن الذي طور القنبلة الذرية، ولكن كان هدف العالِم هو الاستخدام السليم للطاقة النووية (حيث إنَّ هذا العالم

حارب ضد بناء القنبلة الهيدروجينية، لكن رفضَ ذلك الرئيسُ ترومان عام 1949). كما عمل هذا العالم على نطاق واسع في دراسة الثقوب السوداء، فساعد في إنشاء ما يُسمَّى بحدود أوبنهايمر - فولكوف الخاص بالثقوب السوداء، وسنتعرف على هذه الحدود لاحقًا، بعد أنْ أُطلعَكم كيف أخبرَ العالِم عن كيفية تكوين ثقبٍ أسود في كوننا الحقيقي!

والطريقة كما قالها، فهي فائقة الجمال والإثارة:

نحن نعلم بأنَّ النجوم في السماء تمتلك أحجامًا مختلفة، فهنالك نجومٌ قزمة ونجومٌ متوسطة الحجم ونجومٌ عملاقة، وتُعَد الشمس من النجوم متوسطة الحجم، لكن لا يغرَّنكم هذا، فهي تساوي حجم مليون وثلاثمائة ألف كرة أرضية تقريبًا، هل لك أنْ تتخيَّل هذا! رغم كل هذه الضخامة؛ فإنَّ الشمس تُعتَبر نجمًا متوسط الحجم!

هنالك نجوم أصغر منها ونجوم عملاقة قد تساوي كتلتها الآلاف أو مئات الآلاف والملايين لضعف الشمس كما هو مبين في الصورة!



ولكن هنالك معلومة خَطِرة يجب أنْ أخبرك بها، وهي أنَّ النجوم التي تراها في السماء ليست جميعها في مرحلة الشباب وليست دائمًا بالشكل نفسه!

- هذا ما كان ينقُص! أنْ تخبرني أنَّ النجوم لها مراحل عُمرية أيضًا!

- نعم، حتى وإنْ كان يبدو الأمر غريبًا، فإنَّ هذه النجوم التي تراها تتلألأ في السماء قد تكون في مرحلة الولادة، أو في مرحلة الشباب، أو ربما قد تكون تحتضر أو في طور الموت، فالنجوم تولد وتعيش وتموت كالإنسان.

وما قاله العالِم روبرت أوبنهايمر Robert Oppenheimer، بأنَّ النجوم العملاقة التي تساوي كتلتها الآلاف أو مئات الآلاف والملايين أو أكثر من أضعاف كتلة الشمس، تُكوِّن الثَّقبَ الأسود فقط عندما تموت، حيث تتقلص هذه النجوم العملاقة في نقطةٍ صغيرة تُدعَى النقطة المتفردة والتي تلفّها منطقة كروية تُدعَى بأفق الحدث، والتي اتفقنا سابقًا بأنها منطقة اللاعودة، حيث لا يمكن لأي جسم يدخلها أنْ يغادرها مجددًا أو أنْ نعرف ما سيحدث له بعدها.

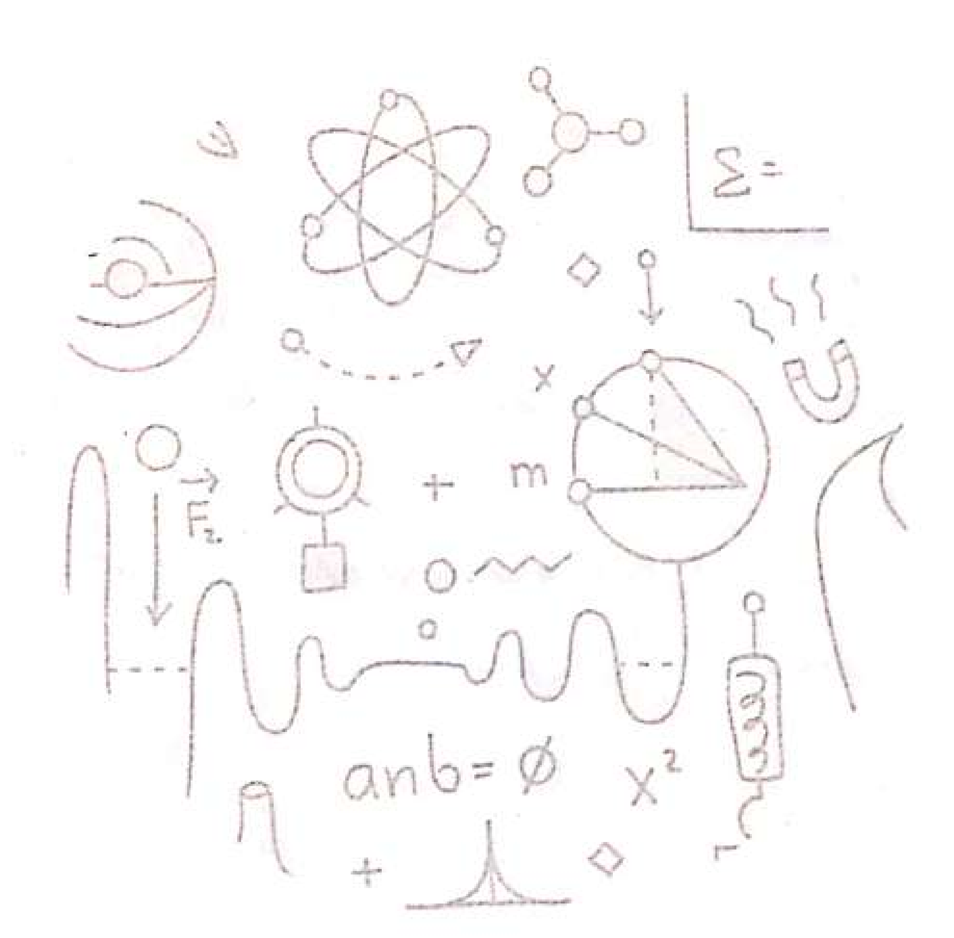
مِن الواضح أنه عندما تموت النجوم، تتحرر من داخلها أرواح شريرة تجعلها غاضبة بعض الشيء، وتُقسِم على نفسها إنها ستثبت وجودها بأي شكلٍ كان، حتى وإن كان على حساب الكون كله! فتتحول إلى الثَّقب الأسود الذي يخطف ملايين الأجسام ويحبسهم في داخله دون خروج أو عودة.

ولكن كيف تُولد وتموت النجوم بجميع أحجامها القزمة والمتوسطة الحجم والعملاقة؟

إذا أردتَ معرفة كيفية تَكوُّن الثَّقب الأسود، أو كيفية ولادة أو موت النجوم بأحجامها المختلفة.. فلا تُفوِّتْ قراءة الفصل التالي «فصل ولادة النجوم وموتها».

المصادر:

- Black Holes Book \ by Stephen Hawking.
- Einstein Monsters Book \ by Chirs Impey.
- A Brief History of Time Book \ by Stephen Hawking -black holes section.
- Astronomy Today Book \ by Eric Chaisson and Steve McMillan.



الفصل الثالث

3

ولادة النجوم وموتها

"علم الفلك هو أقدم من علم الفيزياء، في الواقع، بدأ علم الفيزياء عندما أظهر لنا البساطة الجميلة لحركة النجوم والكواكب، والتي كان فهمها بداية الفيزياء. ولكن أكثر الاكتشافات الرائعة في علم الفلك كله هو أن النجوم مصنوعة من ذرات من النوع الموجود نفسه على كوكب الأرض".

ريتشارد ب. فاينمان (1918-1988)

عرفنا سابقًا أنه يوجد للنجوم عدة أحجام مختلفة: **فهنالك نجوم قزمة ونجوم متوسطة الحجم ونجوم عملاقة.**

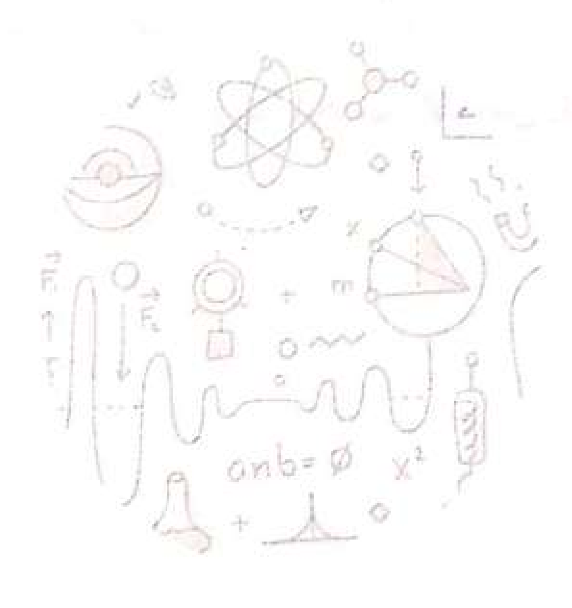
واتفقنا على أنَّ الشمس من النجوم المتوسطة الحجم، وتُقاس أحجام النجوم الأخرى بالنسبة إليها، فالنجوم القزمة يكون حجمها أصغر من الشمس، أما النجوم العملاقة فهي أكبر من الشمس بآلاف أو مئات آلاف المرات بل قد تصل إلى ملايين المرات أيضًا.

سنتحدث في هذا الفصل عن ولادة النجوم بأحجامها المختلفة، وكيف تكونت هذه الكرات الملتهبة والمخيفة في الفضاء!

بدايةً، أشاطرك الرأي إذا وجدتَ أنَّ عنوان هذا الفصل غريب، ولادة النجوم وموتها! هل حقًّا تُولد النجوم وتموت، أم أنه فقط عنوان مجازي؟!

صدِّقْ أو لا تصدق، إنَّ النجوم فعليًا تُولَد وتموت وما بينهما تمرّ بمراحل الشباب والشيخوخة، مثلها مثل الإنسان.

النجوم التي نراها في السماء ليلًا بالعين المجردة، أو باستخدام التلسكوب (المقراب)، ليست جميعها في مرحلة واحدة، فهنالك نجوم تُولَد ونجوم تموت ونجوم ميتة ونجوم تحتضر. يا للغرابة! ولكن هذا -بالفعل- ما يحصل وهذه هي الحقيقة!



ولادة النجوم

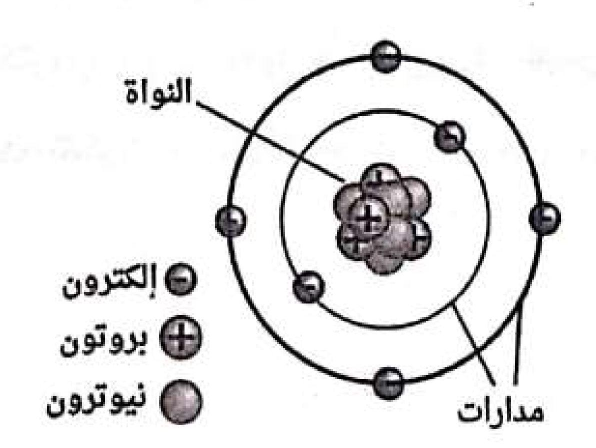
دعنا نبدأ بولادة النجوم بأحجامها المختلفة.

تُولد النجوم من تجمُّعات أو سحابات الغبار والغازات الموجودة في الفضاء، وتُسمَّى هذه السحابات «بالسديم»، حيث إنَّ هذه التجمعات الغازية والغبارية الهائلة هي السبب الأساسي في ولادة النجوم الملتهبة المخيفة!

تتكون تجمُّعات الغبار والغازات هذه بالأساس من ذرات عنصريْ الهيدروجين والهيليوم، ومن عناصر أخرى بشكلٍ أقل.

ولكن دعنا نقف هنا لنعرف ما الذرة:

إنَّ كل شيء في هذا الكون يتكون من أشياء صغيرة جدًّا جدًّا تُدعَى **بالذرات**، تتكون هذه الذرة من نواة موجبة الشحنة، نظرًا لاحتوائها على جسيمات صغيرة موجبة تُدعَى بالبروتونات، وجسيمات متعادلة الشحنة (أي غير مشحونة) تُدعَى بالنيوترونات، ويدور حول هذه النواة إلكترونات سالبة الشحنة.



هذا هو النموذج المُبسَّط والقديم للذرة الذي يُسمَّى بنموذج بور.

(لكن النموذج الحاليّ للذرة أعقد بعض الشيء).

وتختلف الذرات عن بعضها بعضًا في عدد البروتونات والنيوترونات والإلكترونات.

فمثلًا: تتكوّن ذرة الهيدروجين من بروتون واحد داخل النواة، وإلكترون يدور حولها.

أما ذرة الهيليوم[1] فتتكون من زوج من البروتونات، وزوج من النيوترونات، وزوج من الإلكترونات.

بينما ذرة الكربون فتتكون من 6 بروتونات و6 نيوترونات و6 إلكترونات.

ونستطيع القول بأنَّ عدد البروتونات والنيوترونات والإلكترونات هو الذي يحدد نوع الذرة وتفاعلاتها؛ ويحدد ماهية ومكونات كل شيء نراه.

وهكذا يمكنك الآن فَهمي عندما أقول: «بأنَّ السحابات الموجودة في الفضاء التي تتكون من الغازات والغبار تتكون من ذرات الهيدروجين والهيليوم وعناصر أخرى بشكل ضئيل جدًّا». أيْ أنَّ مكونات النجوم هي كالتالي:

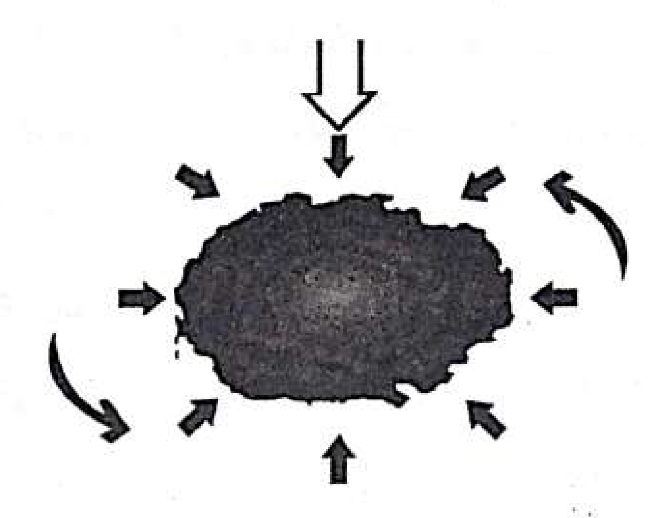
- ذرات تتكون من نواة موجبة، تحتوي «بروتون» بداخلها، وإلكترون يدور حولها، وتُسمَّى **ذرة الهيدروجين**.
- ذرات تتكون من نواة موجبة تحتوي بداخلها بروتونيْن ونيوترونيْن، وإلكترونيْن يدوران حولها، وتُسمى **ذرة الهيليوم- 4**.
- ذرات أخرى وبكميات قليلة، وتحتوي عددًا معينًا من الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات.

---

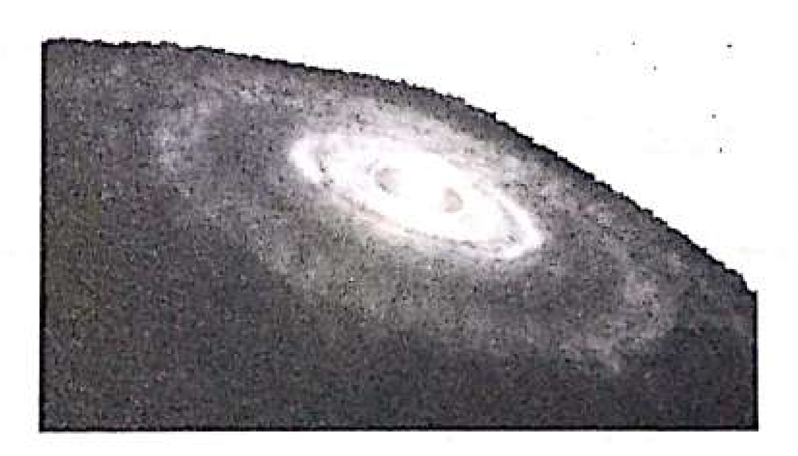
(1) الهيليوم الذي نتحدث عنه يُسمَّى بـ هيليوم - 4 (نسبةً إلى مجموع البروتونات والنيوترونات) ويوجد العديد من النظائر له.

هل يُمكنك تخيُّل هذا؟! من غبار وغازات فقط موجودة في الفضاء ستتكون لدينا نجوم ملتهبة ومخيفة حقًّا! الأمر مُريع!

كما أنه يُطلق على هذه السحابات في الفضاء أيضًا اسم «**الحاضنات**»، لأنها تُعتَبر حاضنات للنجوم الوليدة، تتكاثف أجزاء من تلك السحابات الغبارية والغازات تحت تأثير جاذبيتها، ويؤدي ذلك إلى نشأة وتكوين نجم أو عدة نجوم من تلك السحابة نفسها، أي من الغبار والغازات فقط!



إذن نستنتج هنا أنَّ عملية ولادة النجم تَمُر بعدة مراحل: بحيث تكون أول مرحلة هي تكاثف السحابة تحت تأثير جاذبيتها فقط، وتجمُّعها نحو مركزها، ثم تنكمش فيصبح مركز السحابة التي تتكون من الغبار والغازات ساخنًا جدًّا، مما يؤدي إلى اشتعال المركز؛ إذ يصاحب هذا الانكماش ارتفاعًا تدريجيًّا في درجة حرارة الغاز والغبار.



وكما قُلنا يتكون الغاز والغبار (الموجود في الفضاء تكوُّنًا عشوائيًا بين النجوم) في العادة من عنصريْ الهيدروجين والهيليوم، وهما أخف العناصر الموجودة في الكون، وقد يتكون أيضًا من عناصر أخرى والتي تكون أثقل ولكن بشكل ضئيل، بحيث تكون السيادة للهيدروجين والهيليوم، وبسبب الارتفاع الهائل في درجات الحرارة بالإضافة إلى الانكماش، تتحول الذرات إلى أيونات وإلكترونات حرة، بحيث تنفصل الإلكترونات عن الذرة كاملة، وتصبح الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات منفصلة عن بعضها (أيْ تتفكك جميع مكونات الذرة كاملة)؛ وتُسمَّى تلك الحالة للمادة بالبلازما.

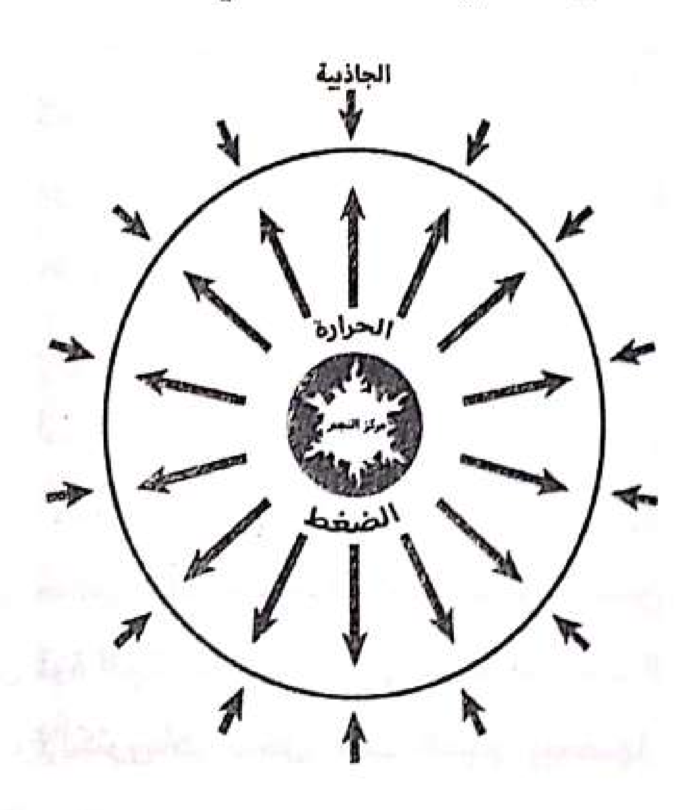
وتظل كرة البلازما تنكمش تحت فِعل جاذبيتها، ويتزايد ارتفاع درجات حرارتها حتى تكون كافية لبدء تفاعل البروتونات لتكوين عنصر الهيليوم، وهذا التفاعل يُسمَّى باسم «الاندماج النووي»[1]، وتنتج منه طاقة كبيرة جدًا، تُكسِب النجم خاصية الإضاءة الهائلة. وحينئذٍ يصبح النجم نجمًا، وتكون هذه هي مرحلة ولادته أخيرًا.

تحدُث تلك **الولادة** عندما تصل درجة حرارة قلب النجم إلى 12 مليون سِلسيوس (درجة مئوية)، وهي درجة الحرارة التي يُمكن أنْ يبدأ عندها تفاعُل الاندماج النووي، وبهذه الطريقة تُولَد النجوم بأحجامها المختلفة بعد مخاضٍ عسير.

قد تتساءل، لماذا تبقى الشمس مشعّة دون أنْ تنهار؟

(1) ما يحدث هو اندماج 4 بروتونات ببعضهم بعضًا لتكوين نواة جديدة وهي نواة الهيليوم، والفروق البسيطة في الكتلة بين الـ 4 بروتونات ونواة الهيدروجين المتكوّنة تخرج على شكل طاقة هائلة حسب مبدأ تكافؤ الكتلة - الطاقة، الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء.

لأنَّ الشمس أو أي نجم يُولَد، يوجد بداخله تفاعلات انفجار نووي مما يؤدي إلى تولُّد ضغط من داخل النجم باتجاه الخارج، ولكن لا ننسى أنَّ النجوم توجد بين جزيئاتها التي تكوّنها قوة جاذبية تؤثر باتجاه الداخل، وقوة الجاذبية هذه تعاكس قوة الضغط الناتجة من انفجارات الاندماج النووي بالاتجاه وتساويها بالمقدار، وبذلك يكون النجم هنا في حالة الاتزان، يعني أنَّ شمسنا حاليًا في حالة اتزان بين قوة الجاذبية وقوة ضغط الاندماج النووي داخلها (كما في الصورة).



موت النجوم

عندما ينتهي الهيدروجين في قلب النجم بعد مدة زمنية طويلة جدًا، ويختل اتزان النجم يموت النجم. (تختلف المدة التي تموت فيها النجوم اعتمادًا على حجمها وكتلتها).

فعندما ينفد الهيدروجين من قلب النجم وينتهي، فإنَّ عملية الاندماج النووي تنتهي أيضًا، وهكذا سيقل الضغط الذي يؤثر بالخارج؛ بسبب

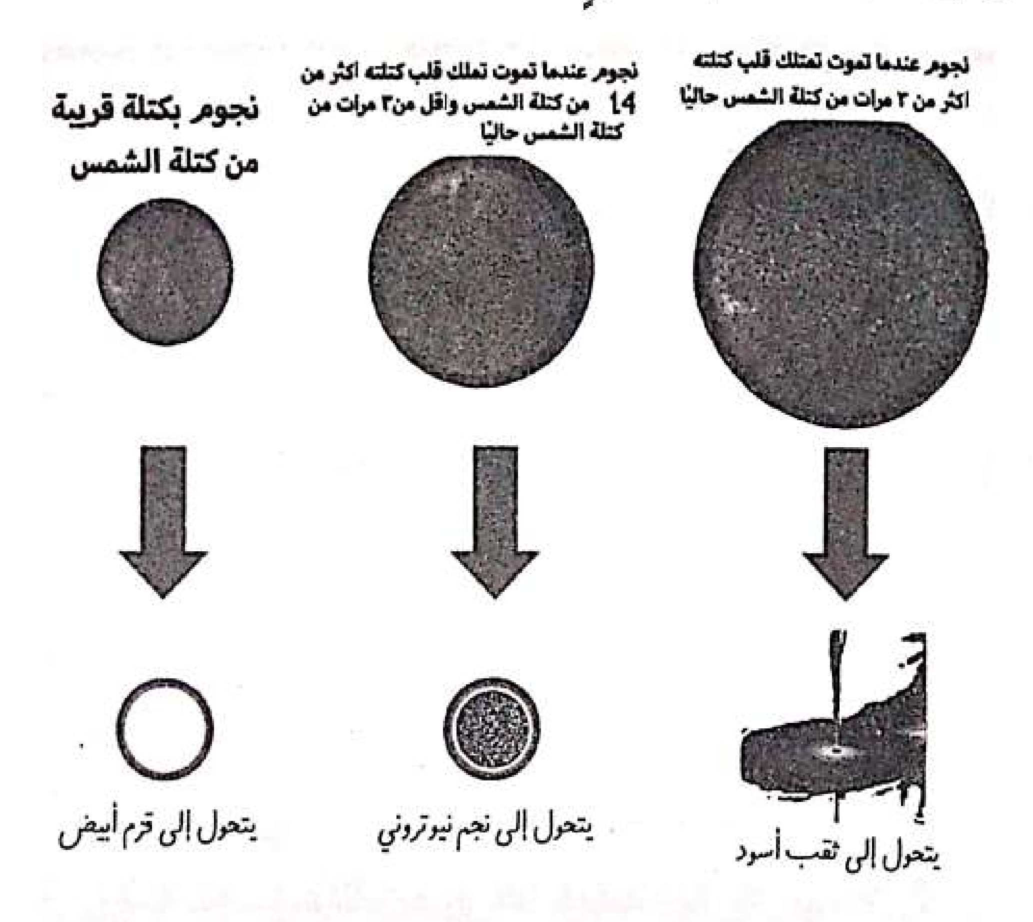
غياب تفاعلات الاندماج النووي، وتتغلب الجاذبية هنا وتفوز على قوة ضغط تفاعلات الاندماج النووي، بحيث يصبح اختلالٌ في اتزان النجم، وهكذا ينكمش قلب النجم كثيرًا إلى الداخل.

ولكن، هل تستطيع تخمين أي النجوم تموت أسرع؟! العملاقة أم القزمة منها؟! إنَّ النجوم العملاقة ينتهي فيها مخزون الهيدروجين وتموت **موتًا أسرع** من النجوم القزمة؛ لأنها تحتاج إلى حرق كمية كبيرة من الهيدروجين حتى تتمكن من الاشتعال باستمرار؛ بسبب حجمها الهائل وكُتلتها الكبيرة، على عكس النجوم القزمة التي تموت ببطءٍ شديد. ولمعلوماتكم كلما كانت كتلة النجم كبيرة، وكان عملاقًا أكثر -عدا أنه كما عرفنا سيموت أسرع من النجوم القزمة-، فإنَّ الجاذبية ستتغلب على قوة الضغط أكثر وسينكمش النجم انكماشًا أكبر.

فإذا كان متوسط الكتلة كالشمس، فإنَّ الجاذبية ستضغط عليه ليتحول قلب النجم إلى **قزمٍ أبيض** حارٍ جدًّا، أما إذا كان من النجوم العملاقة (قلب كُتلته أكثر من 1.4 من كتلة الشمس وأقل 3 مرات من كتلة الشمس حاليًّا)، فإنه سينضغط أكثر ليُكوِّن **النجوم النيوترونية**، بحيث إنه من قوة الجاذبية الهائلة التي ستضغط قلب النجم، ستندمج البروتونات والإلكترونات داخل قلب النجم ببعضها بعضًا بسبب الضغط الهائل، ليتكوَّن نجمٌ مليءٌ بالنيوترونات، ولذلك سُمِّيَ بالنجم النيوتروني، ويُعتَبر هذا النجم، من أكثر النجوم المخيفة في هذا الكون، مع أنَّ مساحة سطحه تصبح صغيرة جدًّا أشبه بقرية صغيرة!

أما إذا كان قلب النجم الأصلي له كتلة أكبر من ثلاثة أضعاف كتلة شمسنا الآن، فإنه سينضغط بكامل عظمته وكتلته في نقطة صفرية الأبعاد، مُكوِّنًا ما يُدعَى بـ (**الثَّقب الأسود**)، وهذه النقطة تحديدًا لا يصلُح أنْ نُطبّق عليها أيًّا من القوانين الفيزيائية التي نعرفها في عالمنا

الحاليّ، بل نحتاج لدراستها إلى قوانين فيزياء مختلفة تمامًا عن التي نعرفها الآن لدراسة هذه الثقوب السوداء، وما زال الوصول إلى هذه القوانين المجهولة حُلمَ كل عالِمٍ!



الفصل الرابع

4

أنواع الثقوب السوداء

"قد تكون الثقوب السوداء بوابة لأماكن أخرى. إذا ما دخلنا ثَقبًا أسود، قد نجد أنفسنا في مكان آخر في الكون أو في حقبة أخرى من الزمن.. قد تكون الثقوب السوداء بوابة إلى بلاد العجائب. ولكن هل سنرى أليس أو الأرانب البيضاء؟".

كارل ساغان (1934-1996)

إذن، توصّلنا إلى أنَّ الثُّقب الأسود يتكون عندما يستنفد نجمٌ عملاقٌ كلَّ ما يملك من وقودٍ نوويّ بسبب احتراق الهيدروجين بالكامل، وفوز قوة الجاذبية على قوة الضغط للاندماج النووي وانكماش النجم بسبب انعدام قدرته على دعم نفسه ضد قوة الجاذبية؛ إذ تقوم بسَحب الغازات نحوها مما يؤدي إلى تقلُّص حجم النجم بسُرعة لدرجة أنه لا يمكن لأي قوة في الكون أنْ تُوقف هذا الانكماش، وفي جزءٍ من الثانية تُضغَط مادة النجم في نقطةٍ واحدة تُدعَى بالنقطة المتفردة، ويتكوَّن لدينا الثُّقبُ الأسود، كما في الصورة:

أول صورة التُقِطَت لثَقبٍ أسود سنة 2019.

أجزاء الثقوب السوداء

ولكن عندما نتحدث عن ثَقبٍ أسود علينا أنْ نعرف أجزاءه الرئيسة الثلاثة، التي تُكوِّن جميع أنواع الثقوب السوداء:

النقطة المتفردة (Singularity)

كما نعلم في عِلم الرياضيات، النقطة المتفردة تُسمَّى بذلك عادةً لأنها النقطة التي يتصرف فيها منحنًى ما، أو اقتران ما، أو خاصية ما تصرُّفًا غير عاديّ وغير مألوف.

وهنا في فيزياء الثقوب السوداء، النقطة المتفردة هي المكان الذي يصبح فيه انحناء نسيج الزمكان عظيمًا وهائلًا بشكلٍ لا نهائيّ بحيث يتشوّه نسيج الزمكان عندها كما عرفنا مسبقًا، إذ إنها من شدة الانحناء تعمل على تشويه نسيج الزمكان، وهذا الأمر لم نجد له حلًّا فيزيائيًّا إلى الآن، لذلك.. فإنَّ هذه النقطة تخرق كلّ قوانين الفيزياء المعروفة بتشويهها لنسيج الزمكان، ولا يمكن تطبيق قوانين الفيزياء التي نعرفها عليها لدراستها.

قد تكون النقطة المتفردة على شكل **نقطةٍ** صفرية الأبعاد، أو **خطٍّ** أحاديّ البُعد، أو حتى على شكل **صفيحةٍ** ثنائية الأبعاد، تتنبأ نظرية النسبيّة العامة كما قُلنا بأنَّ النقاط المتفردة تتكون داخل الثقوب السوداء، لكنها مخفية عن بقية الكون وراء آفاق الحدث داخل الثَّقب الأسود.

قد تكون الصياغة المناسبة لنظرية تُدعَى بنظرية **الجاذبية الكمومية** خلال المستقبل -فيما لو استطاع أحدٌ الوصول إليها- طريقةً لتساعدنا في فَهم النقطة المتفردة، والخروج بفيزياء جديدة فريدة من نوعها لفَهمها (سأتحدث عن هذه النظرية في الفصول الأخيرة).

أفق الحدث (Event Horizon)

هو الجزء الثاني من أجزاء الثَّقب الأسود، إذ إنَّ أفق الحدث هو الحدّ المحيط بالنقطة المتفردة في الثَّقب الأسود، ويُسمَّى حدَّ اللاعودة بحيث

من المستحيل الهروب منه إنْ دخلته أيُّ مادة أو طاقة، حتى الضوء لا يستطيع الهرب منه، أيْ أنَّ سرعة الإفلات منه أكبر من سرعة الضوء.

هو أيضًا نصف القطر الذي يجب أنْ تُضغط إليه أيّ كتلة من أجل تحويلها إلى ثقبٍ أسود، فإذا ضُغطت مادة الكرة الأرضية في نقطة معينة صفرية الأبعاد (نقطة متفردة) لصُنع ثقبٍ أسود… فإنّ أفق الحدث لهذه النقطة (المجال الجذبيّ الذي لن يعود مَن يقترب منه) سيكون قطره 1 سم تقريبًا، -ومثلًا- إذا أردنا أنْ نضغط نجمًا ذا كتلة 10 أضعاف كتلة الشمس في نقطةٍ، سيتشكّل ثقبٌ أسود بأفق حدث قطره 64 كيلومترًا.

القرص المتنامي (Accretion Disk)

وهو الجزء الثالث من أجزاء الثقوب السوداء، فهو يحيط بأفق الحدث لجميع أنواع الثقوب السوداء، حيث إنَّ القرص المتنامي هو بقايا ابتلاع الثَّقب الأسود لنجمٍ ما، أو للغبار القريب منه (فمن البَدَهيّ بقاء بعض بقايا ضحايا الوحش حول فمه بعد ابتلاعها)، وعندما تقترب أي مادة من الثَّقب الأسود (نقصد بالمادة عادةً الغازات والغبار أو شيء مادي آخر)، تحتكُّ هذه المادة ببقايا المادة الموجودة مسبقًا في القرص المتنامي، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة هذه المادة حول الثَّقب الأسود، مما يجعلها مشرقة إشراقًا لامعًا كما نرى عندما ننظر إلى صور الثقوب السوداء بحيث ما يظهر منه لنا هو فقط القرص المتنامي، وكلما اقتربنا من أفق الحدث تصبح مادة القرص المتنامي مشتعلة أكثر ومضيئة.

يمكنكم الآن النظر إلى الصورة في الأعلى وتحديد الأجزاء الثلاثة للثقوب السوداء وهي كما قُلنا أول صورة لثَقبٍ أسود التُقِطتْ عبر التاريخ.

أنواع الثقوب السوداء

يوجد عوامل عديدة تشترك في تصنيف الثقوب السوداء كالكُتلة والشحنة والدوران، فهناك ثقوب سوداء صغيرة وبعضها كبيرة الكتلة، ومنها ما هو مشحون وأخرى بلا شحنة، وثقوب سوداء تدور حول نفسها، وأخرى لا تدور.

- **تصنيف الثقوب السوداء حسب كُتلتها:**

للثقوب السوداء أربعة أنواع، صنَّفها العلماء حسب كُتلتها:

1) الثقوب السوداء هائلة الكتلة:

ومِن اسمها نعرف أنها أكبر أنواع الثقوب السوداء الموجودة في الكون، يُعتقَد بأنها توجد في مراكز المجرات في الكون، وتعمل كمُحرك دينامو يحرّك النجوم في المجرة ويجعل المجرة تدور حول نفسها، فهي توجد في منتصف المجرات وتتراوح كُتلتها ما بين (100 ألف – مليارات) أيْ ضعف كتلة الشمس، وعادة ما تكون كُتلتها مليونَ شمسٍ، ولكم أنْ تتخيَّلوا كيف تنحصر كل هذه الكتلة في النقطة المتفردة، وتكون هذه النقطة مُحاطة بمجال جذبٍ كما قُلنا (أفق الحدث).

ملاحظة مُهمّة: أُكِّدَ وجود ثقوب سوداء بمراكز المجرات سنة 2020، بحيث أخذت العالِمة الأمريكية أندريا جيز والعالم الألماني رينهارد جينتزل نصف جائزة نوبل لاكتشافهما جرمًا ضخمًا شديد الكثافة في مركز مجرتنا، وهو لا يمكن أن يكون سوى ثَقبٍ أسود هائل الكتلة.

وبهذا أصبحت العالِمة أندريا جيز رابعَ سيدة تحصل على جائزة نوبل في الفيزياء، وعلّقتْ على هذا قائلة: «أشعر بالبهجة والسعادة الشديدة لكوني رابعَ امرأة تفوز بجائزة نوبل للفيزياء، وبأنني أحمل على عاتقي مسؤولية كبيرة لذلك، وأتمنى أن أستطيع إلهامَ الفتيات اليافعات للانخراط في هذا المجال، فهو مليء بالمتعة، ولو كنتِ شغوفة بالعلم، فثمة الكثير مما يُمكن تحقيقه».

وبالفعل، هي حقًا ألهمتني وكل امرأة تحدّتْ الكثير من العوائق لتحصل على جائزة نوبل وأتمنى أن أكون مثلها يومًا بِحبِّها للفيزياء، وخصوصًا الفيزياء النظرية والفلكيّة -المجال نفسه الذي أحب-.

2) **الثقوب السوداء النجمية:**

وهي **أكثر الثقوب السوداء شُهرةً**، وهي تنشأ عادةً من انهيار النجوم العملاقة التي تتحول إلى ثقوبٍ سوداء، وتمتلك النقطة المتفردة كتلةً تساوي 10 أضعاف كتلة الشمس تقريبًا.

3) **الثقوب السوداء المايكرو كروية:**

ونستدل من اسمها إنها صغيرةٌ جدًّا، يمكن أنْ تصل كُتلتها إلى أقل من كتلة القمر.

4) **الثقوب السوداء البدائية:**

يؤمِن العلماء بأنها أصغر أنواع الثقوب السوداء، فهي بحجم الذرة وبكتلةٍ تساوي كتلةَ الجبل تقريبًا، ويعتقد العلماء بأنها تكوّنت عند بداية نشأة الكون تحديدًا بعد الانفجار العظيم، حيث كان الضغط والحرارة شديديْن جدًّا، فمِن المُمكن أنْ يتسبب ذلك في تشكيل مناطق عالية الكثافة بما يكفي لتتشكّل ثقوبٌ سوداء، ولكن مع «منطقية» هذه الفرضية، إلا أنه لم يُكتَشف أيُّ ثَقبٍ أسود بدائيّ إلى الآن.

ملاحظة:

هناك العديد من التصنيفات التي ستجدونها على المواقع الإلكترونية لتصنيف الثقوب السوداء حسب كتلتها، ولكنني اخترت «موقع ناسا الرسمي» مصدرًا أساسيًّا للأرقام لأكون أكثر دقةً.

- **تصنيف الثقوب السوداء حسب دورانها وشحنتها:**

بالنسبة إلى عامل الدوران؛ لنتخيَّل الثَّقب الأسود كلُعبة البلبل الدوَّار، فإنَّ هناك ثقوبًا سوداء **لا تدور حول نفسها**، كما نجد ثقوبًا سوداء **تدور حول نفسها** مثل ألعاب البلابل المغزليّة (**Spinning Tops**) (ويعتبر وجود هذه الثقوب السوداء في كوننا على أرض الواقع هو الأكثر احتمالًا)، حيث إنَّ دورانها يؤثر في شكلها، وعلى عدة خصائص أخرى ستبهرك حقًّا عند معرفتها!

أما بالنسبة إلى عامل الشحنة؛ فهناك ثقوبٌ سوداء لها شحنة كهربائية، وهناك ثقوب سوداء لا تمتلك أيَّ شحنةٍ كهربائية، وسنتحدث عن هذا عندما ندرس كلَّ نوعٍ.

أشهر ثلاثة أنواعٍ للثقوب السوداء، صنَّفها العلماء حسب **دورانها وشحنتها** هم:

1) **الثَّقب الأسود شوارزشايلد:**

في عام 1916 تلقّى آينشتاين خبرًا أدهشَه جدًّا، يقول: بأنَّ الفيزيائي الكبير كارل شوارزشايلد (مدير مرصد الفيزياء الفضائية في بوتسدام) قد حلَّ معادلاته، ويُعتَبر حلّ هذا العالِم الذكيّ حلًّا عبقريًّا لمعادلة عبقرية (نظرية النسبيّة العامة)، والتي استنتجنا منها مفاهيم كبيرة لأول مرة **كتمدُّد الكون، والانفجار العظيم**، بالإضافة إلى الثقوب السوداء بأنواعها.

لكنَّ الغريب في قصتنا، رغم أنَّ العالِم كارل شوارزشايلد مدير مرصد الفيزياء الفضائية في بوتسدام بألمانيا، فإنه تطوّع لمحاربة الروس ضمن الجيش الألماني (بما أنه ألماني الجنسية)، والمُدهِش في

ذلك بأنه نجا من الحرب حيث عمل فيها عالِمًا فيزيائيًا وهو في صفوف الجيش، فحَسَبَ مسار قذائف المدافع لمصلحة جيش ألمانيا، كما حلَّ معادلات آينشتاين خلال اشتعال الحرب حلًّا رائعًا ودقيقًا، وإلى الآن ما زال هذا الحلُّ موجودًا، ويُعرَف بـ «**حلّ شوارزشايلد للثقب الأسود**».

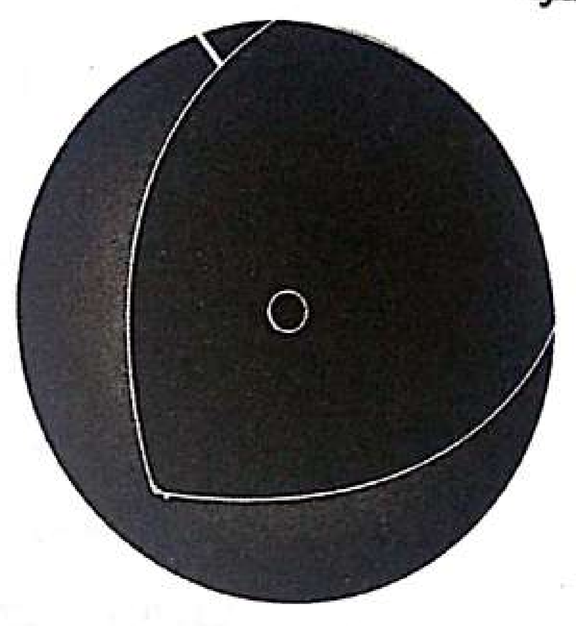
لكن لم يعشْ هذا العالِم كثيرًا ليجني ثمارَ تعبه على معادلاته، فقد مات عن عمرٍ يناهز 42 سنةً، بعد أشهُر قليلة من نشر بحثه في «حل شوارزشايلد للثقب الأسود»، بسبب مرضٍ جلديّ نادر أصابه في أثناء قتاله في الحرب مع ألمانيا ضد الروس.

يا له مِن عالِمٍ رائعٍ حقًّا! لا بدَّ أنَّ موته خسارة كبيرة للعلم، حتى إنَّ آينشتاين قد حزن حُزنًا كبيرًا على موته، وألقى خُطبة على الناس معبِّرًا فيها عن حزنه وأسفه لخسارة عالِمٍ كَشوارزشايلد، مُبينًا أنَّ موت هذا العالِم قد جعل كراهيته أكبر للحروب التي لا ترحم.

فهو ثَقب أسود بسيط لا يملك أيَّ شحنةٍ كهربائية ولا يدور (مسكينٌ مجرَّدٌ من كل شيء)، وعليَّ أنْ أؤكد أنَّ هذا الثَّقب الأسود -كما نعلم- هو فقط **نتاج حلٍّ رياضيّ** لمعادلات آينشتاين في نظرية النسبيّة العامة؛ لأنَّ معظم النجوم العملاقة قبل أنْ تموت تُصنَّف نجومًا تدور حول نفسها، أما هذا الثَّقب الأسود الذي توصلَّ إليه «شوارزشايلد» **لا يدور** حول نفسه، كما توصلَ رياضيًّا إلى أنَّ أيَّ شخصٍ يدخلها سيموت فورًا، فعندما يقترب أيُّ شخصٍ من هذا الثَّقب الأسود سيتمدد جسمه ويصبح مثل المعكرونة إلى أنْ يدخل إلى أفق الحدث، ليصطدم وأخيرًا بالنقطة المتفرّدة داخل الثَّقب الأسود ويموت، فإنَّ وجودَه على أرض الواقع يُعتَبر شيئًا مُستبعدًا جدًّا!

أما مكونات (الثُّقب الأسود شوارزشايلد) تتلخص كما قُلنا في جزأين:

- النقطة المتفردة.
- أفق الحدث: كما قُلنا فهو السطح الخارجي للثقب الأسود (حدّ اللاعودة)، فأي شخصٍ يدخله لا يعود، ولكن نُضيف هنا أنه يملك نصفَ قطرٍ (بما أنه كرويّ الشكلِ) ونصف قطره يُدعَى بـ «نصف قطر شوارزشايلد».



فما يقوله العالِم شوارزشايلد بأنَّ أيَّ شيءٍ في الكون يمكن ضغطه ليصبح ثَقبًا أسود عندما يصبح له نصفَ قطرٍ يُسمَّى بنصف قطر شوارزشايلد.

هل هذا معقول؟! حسب معادلته فإنني وأنت وأيُّ شيءٍ في الكون يمكن أنْ نتحول إلى ثقوبٍ سوداء نبتلع كلَّ شيءٍ، ولكن عندما نُضْغَط لتصبح كُتلتنا كاملةً في نقطةٍ واحدةٍ صفرية الأبعاد ولنا نصف قطرٍ يُدعَى بنصف قطر شوارزشايلد.

مثلًا، إذا عَوَّضنا كتلة الشمس في معادلة شوارزشايلد لتصبحَ ثقبًا أسود من نوع شوارزشايلد ونحن نعلم أنَّ كتلةَ الشمس تساوي تقريبًا كغم، يقول لنا العالِم شوارزشايلد نحتاج إلى أنْ نضغط كلَّ كتلة الشمس في نقطةٍ واحدةٍ وسيكون نصف القطر شوارزشايلد لأفق الحدث لها يساوي (2.5) كيلومترٍ، أيْ ستكون على شكل نقطةٍ صفرية الأبعاد مضغوطةً فيها كل مادة الشمس، محاطةً بمجال جذبيّ كرويّ الشكل له نصف قطرٍ يساوي (2.5) كيلومترٍ (مع إعادة التأكيد بأنَّ الشمسَ من المستحيل أنْ تتحول إلى ثَقبٍ أسود عند موتها كما درسنا في الفصل السابق).

أما لو أردنا أنْ نبالغَ قليلًا ونجرِّب على كوكب الأرض، فيما إذا أصبح ثَقبًا أسود فجأةً وعوَّضنا كتلته في معادلة شوارزشايلد، سيساوي نصف قطر شوارزشايلد (0.9) سنتيمتر، أيْ تقريبًا ما يساوي (1 سم)!

بلُغةٍ أخرى، لو ضَغطنا الأرض بطريقةٍ ما في نقطةٍ متفردة، سيكون نصف قطر المجال الجذبيّ لها (1 سم) فقط، وهكذا ستكون قد تحولت إلى ثَقبٍ أسود! وهكذا...

هل لكَ أنْ تتخيَّل هذا! وقِسْ ذلك على أيّ جسمٍ في الكون مَهما كانت كتلته صغيرةً!

2) الثَّقب الأسود كير:

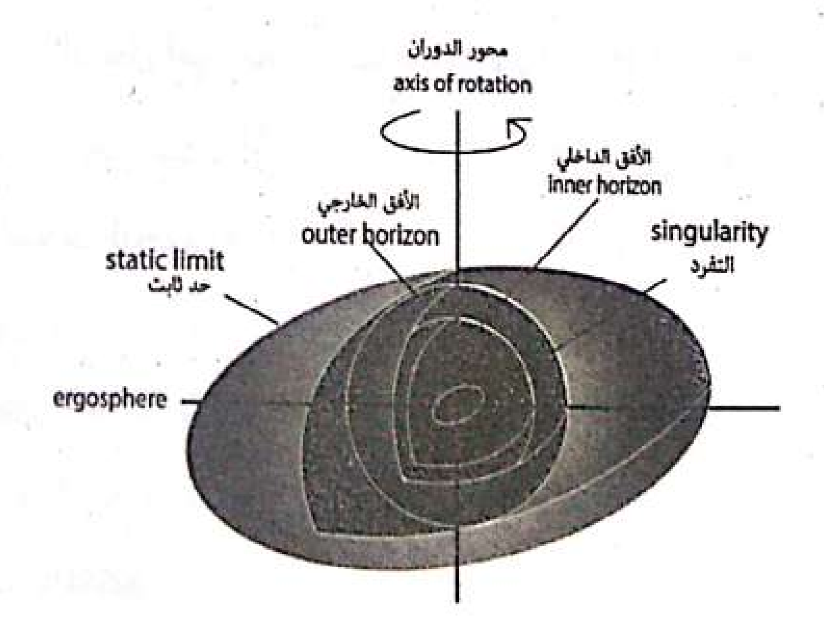
هو النوع الثاني من أنواع الثقوب السوداء، وذَكَرنا بأنه يختلف عن الثَّقب الأسود شوارزشايلد بدورانه حول نفسه، فهو يملك محورَ دورانٍ كما نرى في الصورة يدور حوله طوال الوقت، حسنًا هذا بالنسبة إلى الدوران، ما أخبار الشحنة؟!

- يتشابه هذا الثَّقب مع الثَّقب الأسود شوارزشايلد بعدم امتلاكه شحنةً كهربائية أيضًا!

تمت تسمية هذا الثَّقب الأسود نسبةً إلى عالِم الرياضيات النيوزيلندي «روي كير» الذي كان أول شخصٍ يقوم بحلّ معادلات آينشتاين في نظرية النسبيّة العامة عام 1963، متوصّلًا إلى نوعٍ جديد من الثقوب السوداء التي تدور!

ربما يكون وجود الثقوب السوداء كير في كوننا هو الأكثر احتمالًا من الأنواع الأخرى، ويعود ذلك إلى الطريقة المعقولة الحدوث لنشأة الثقوب السوداء عامةً، وهي موت النجوم العملاقة فائقة الكتلة التي تدور بطبيعتها، وهكذا ستتكون عند موت هذه النجوم العملاقة الدوارة ثقوبٌ سوداء **دوارة** بسبب مبدأ يُدعَى بمبدأ «حفظ الزخم الزاوي» أيْ إذا كان هناك جسمٌ يدور في مدارٍ مثل دوران الكرة الأرضية حول الشمس فإنَّ كمية حركتها الدورانية تكون ثابتةً لا تتغير، فتحافظ النجوم على دورانها حتى بعد موتها وتحولها إلى ثَقبٍ أسود، وبذلك يتأكد لدينا أنَّ الثَّقب الأسود كير هو الأكثر احتمالية بسبب امتلاكه لخاصية الدوران.

يتكون هذا الثَّقب الأسود كما نرى في الصورة مِن:



- نقطةٍ متفردة على شكل **حلقة** (Ring-Shaped Singularity) وليست على شكل نقطة!
- أُفقَيْ حدثٍ (داخلي وخارجي)، ونحن عادةً ما نتعامل مع أفق حدثٍ واحد، وندعوه بحدّ اللاعودة! فكيف بوجود أفقَيْ حدثٍ! ماذا سيحصل؟

في الحقيقة فإنَّ ما سيحصل شيءٌ غريب جدًّا، عندما تدخل هذين الأفقيْن وتراهما عن قرب، سترى ما لا تتخيَّل ولا تصدِّق، ولكن روعة المعادلات الرياضية هي ما ستوضح لكَ لاحقًا غرابةَ أفقَيْ الحدث هذين (الداخلي والخارجي).

- الإيرغوسفير Ergosphere: وهو مثل الغلاف الجويّ للأرض، ولكنه الغلاف الجوي للثقب الأسود كير، ويحدّ الإيرغوسفير Ergosphere من الخارج.
- النهايةَ السكونيّة- Static limit كما نرى في الصورة- وقُلنا بأنَّ النهاية السكونيّة هي الحد الفاصل بين الإيرغوسفير والفضاء الطبيعيّ في كوننا، ويحدّ الـ Ergosphere من الداخل أفقَ الحدث الخارجيّ Outer Event Horizon.

وطبعًا إذا كان هناك أيُّ جسمٍ يمرّ مرورَ الكرام في الفضاء الطبيعيّ وصولًا للغلاف الجويّ Ergosphere للثقب الأسود، فإنه من الطبيعيّ أنه سيكون لا يزال يمتلك القدرةَ على الهرب من الثُّقب الأسود، عن طريق حصول هذا الجسم على الطاقة الناتجة من دوران هذا الثُّقب الأسود، أما إذا وصل هذا الجسم إلى حدود أفق الحدث، فسيُمتَص في الثُّقب الأسود ولن يفلتَ بالتأكيد.

- النهاية السكونيّة Static limit: كما ترى في الصورة هي النهاية التي تفصل بين الإيرغوسفير Ergosphere والفضاء الطبيعيّ في كوننا.

كما نرى في الصورة، فإنَّ جزء الإيرغوسفير Ergosphere يُعتَبر الغلاف الجويّ للثقب الأسود، وهو منطقة بيضاوية الشكل حول الثُّقب الأسود كير الذي يدور فيها، ويقوم بانحناء نسيج الزمكان معه، وسحبه خلال دورانه (يعني أنَّ الثُّقب الأسود لا يسحب فقط المادة والطاقة، بل يسحب نسيج الزمكان معه باتجاه دورانه نفسه)، وهي ظاهرة تُعرف باسم تأثير لينس-ثيرنغ (Lense-Thirring Effect)نسبةً إلى العالِميْن اللذين اكتشفاها "Joseph Lense" و"Hans Thirring"، أو تُدعَى أحيانًا باسم **انجرار الإطار. (frame dragging).**

لن ألومك إنْ أربكَتْكَ هذه المعلومة، ما أريد إيصالَه لك بالنسبة إلى هذه الظاهرة فقط بأنَّ الثُّقب الأسود قد يسحب الزمكان ويجرّه في اتجاه دورانه نفسه، ولا يسحب المادة والطاقة فقط بل أيضًا نسيج الزمكان وهذا -بالفعل- شيءٌ عجيبٌ!

أضِفْ إلى معلوماتك:

إنَّ تأثير (Lense-Thirring)، هو تأثيرٌ اكتُشِفَ في عام 1918 من خلال حلّ العالِمين (Joseph Lense) و(Hans Thirring) لمعادلاتٍ في نظرية آينشتاين المشهورة «النسبيّة العامة»، هذه النظرية تؤكد لنا في كل مرة عبقرية وَاضِعها، فهي تستمر في إبهارنا بإخراج أفكارٍ جديدة كل مرة، وما أعظمَها من أفكارٍ!

فتأثير Lense-Thirring رياضيًّا: هو تأثيرٌ يتسبب به أي جسم دوّار صغير قد يكون نجمًا نيوترونيًّا كالذي تحدثنا عنه سابقًا، أو ثَقبًا

أسود أو غيره؛ بحيث يقوم هذا الجسم بتحريك الزمكان القريب منه في اتجاه دورانه نفسه، وهذا الشيء -بالفعل- خَطِرٌ في الفيزياء ويُنتج لنا أشياء لم نكُن نتخيَّلها!

إنّ دوران أي جسم في الفضاء يؤدي إلى ما نُسمِّيه في الفيزياء «**مسارات مغلقة شبيهة بالوقت closed time-like paths**»، أي سيحدث شيءٌ مجنون، وهو أنَّ هذا الجسم سيصبح مثل آلة الزمن Time Machine.

إنَّ **الثَّقب الأسود كير** سيكون مثل «آلة الزمنِ» التي نسافر عبرها إلى الزمن الذي نريد.

- أحقًّا ما تقول؟!
- نعم، سيصبح الثَّقب الأسود مثل آلة الزمن التي نراها في أفلام الخيال العلمي، وليس هذا فقط، تتذكرون -بالطبع- في الصفحات السابقة عندما ذكرتُ بأنَّ نوع الثَّقب الأسود كير هو الأكثر احتمالًا وجوده في كوننا؛ لأنه يدور ولا يملك شحنةً، إذن، قد تكون معظم الثقوب السوداء الموجودة في الفضاء هي آلة زمنٍ في كوننا الفسيح.
- هل يُعقَل هذا! أم أنه محض خيال عالِمٍ؟!
- بالطبع هذا حقيقيٌّ **رياضيًا**، هذه هي الفيزياء النظرية، باستخدام معادلاتٍ معقدة في نظرية النسبيّة العامة نصل إلى أنَّ الثَّقب الأسود كير يمكن أنْ يكون آلةَ زمنٍ، وكما ذكرنا سابقًا بأنَّ نظرية النسبيّة العامة تم تأكيد صحتها سنة 1919م (وهذا يؤكد أنَّ كل ما يصدر عنها هو شيءٌ حتميٌّ).

ولكن لم نستطع إلى الآن أنْ نكشف عن وجود الثقوب السوداء التي أخبرتْ عنها النظرية أو حتى أنْ نصوّرها، (كُتبت هذه العبارة في سنة 2017، وذلك في رحلة تأليفي لهذا الكتاب)، لكنني سأزفُّ لك خبرًا مفرحًا ينفي ما ذكرتُه، وهو أنه ولأول مرة في سنة 2019 وبعد جهود جبارة، التُقِطت أول صورة لثقبٍ أسود، كنتيجة لمشروعٍ يُدعَى مقرابَ **أفق الحدث** (**Event Horizon Telescope**). ويُعتَبر هذا حدثًا تاريخيًّا عظيمًا، فكما قال فرانس كوردوفا، أحد أعضاء الفريق البحثي القائم على مشروع تصويره «إنَّ لحظة الإعلان لحظة عظيمة، بعد أنْ كَشَفَت للبشر عن شيءٍ كان غيرَ مرئيّ طوال عقودٍ».

هل فكرة أنَّ (الثّقب الأسود كير) يُعتَبر آلةَ زمنٍ هي الفكرة المجنونة الوحيدة التي تحدثَ عنها الفيزيائيون؟! وهل (الثّقب الأسود كير) هو آلة الزمن الوحيدة في هذا الكون؟!

- بالطبع لا، فالفيزياء كلها عالمٌ من الجنون، وهناك عدة أمثلة أخرى غير الثّقب الأسود كير اعتُبِرت كآلة زمنٍ، مثل **كون** جودل Gödel، و**أسطوانة** Van Stokum، أو **حلقة** Gott وغيرها، هذه أسماء غريبة لآلات زمن مُحتمَلة في الفيزياء النظرية، (سنتحدث عنهم بطريقة مُفصَّلة في فصل السفر عبرَ الزمن)، وها نحن نضيفُ الثّقب الأسود كير.

ماذا يحصل داخلَ الثّقب الأسود كير؟!

يتم عكس أدوار المكان والزمان في كل أفق حدثٍ للثقب الأسود، وبما أنَّ الثّقب الأسود كير يمتلك أُفقَيْ حدثٍ، إذن يتم عكس أدوار الزمان والمكان مرتين، والنقطة المتفردة كما ذكرنا هي على شكل **حلقةٍ**، هذه الحقيقة نتيجة معادلات هندسة كير المتريّة التي استنتجها من معادلات

آينشتاين، وتكون الحلقة المتفردة زمانية بحيث يُمكن تجنُّبها، مما يؤدي إلى الدخول إلى كونٍ آخر مختلفٍ تمامًا عن كوننا، وإنْ لم يستطعْ تجنُّب الحلقة المتفردة ودخل إليها، سيدخل إلى منطقة «الفضاء السلبي Negative Space»، (للأسف، لا يمكننا التنبؤ تمامًا بفيزيائية هذا الفضاء السلبي حتى الآن).

وهناك مُخطط يُدعَى **مُخطط بنروز** يُمكِّننا مِن فَهم كيف يُمكِنُنا السفر إلى كونٍ آخر أو الذهاب إلى فضاء سلبي بحيث يُبين البنية الداخلية للثقب الأسود كير، ولكن وجدتُ صعوبة في تبسيطه فهو يعتمد على معادلاتٍ ولا أريد تعقيدك بها.

لكنّ العالِم بنروز هو عالِمٌ فيزيائي رياضياتي إنجليزي مشهور بمساهماته المُهمة في عِلم الكوْنيات وفيزياء الثقوب السوداء، وهو مشهورٌ بوجهات نظره المثيرة للجدل حول طبيعة الوعي البشري، وعلاقته بفرعٍ في الفيزياء، الذي يُدعَى بـميكانيكا الكم (سنتعلم عن هذا العِلم الرائع في فصل سحر ميكانيكا الكم)، وقد حصل هذا العالم الرائع على نصف جائزة نوبل في الفيزياء لسنة 2020 عن عمله في الثقوب السوداء.

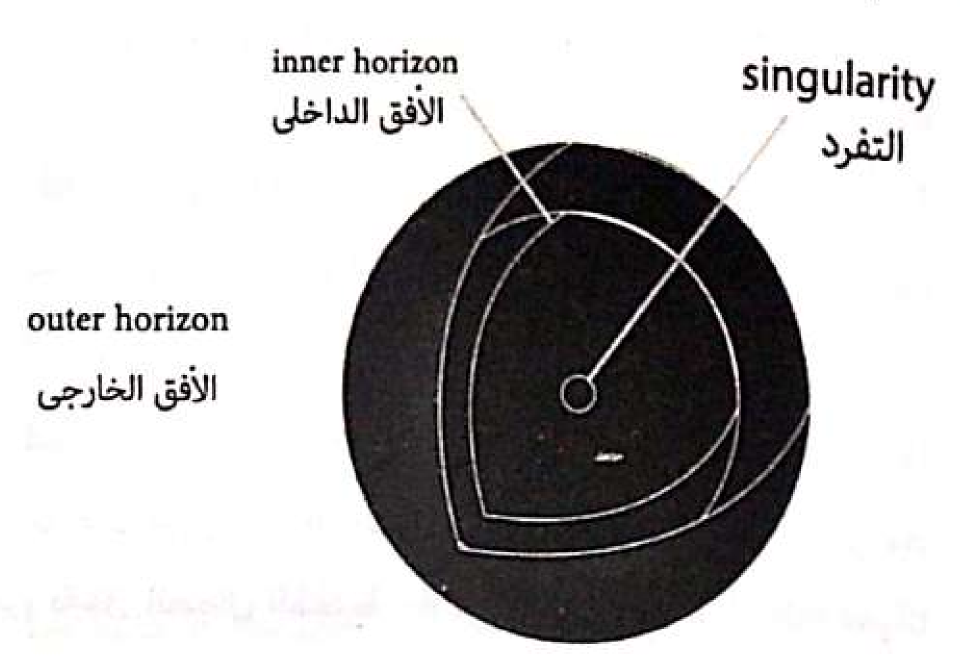
تحذير للمسافرين!

كل ما قِيل هنا عن الثَّقب الأسود (كير) كلامٌ نظري بحت، وهو حلٌّ رياضيّ للعالِم كير، وحلٌّ غير مستقر (Unstable)، كما وأنه ناجحٌ تمامًا للثقب الأسود في حال أنه بقيَ في عزلةٍ تامة في الكون دون أنْ تدخله أيُّ مادة.

إنَّ إضافة أي مادة غريبة، مثل دخول رائد فضاء إليه، يُمكن أنْ يكون كافيًا لزعزعة استقرار حلّ كير، وجعل السفر عبر الثَّقب الأسود

غير واقعي، ولفهم ذلك نحتاج إلى أنْ نكون قادرين على أخذ التأثيرات الكموميّة في الاعتبار ومع ذلك، سيتطلب ذلك نظرية الجاذبية الكموميّة (التي سنتحدث عنها في فصلٍ خاص سُمِّيَ باسمها)، فهي أحد الأهداف الرئيسة للفيزياء النظرية المعاصرة.

3) الثُّقب الأسود رزينير-نوردستروم



هو ثقبٌ أسود مشحونٌ كهربائيًّا، لكنه غير دوّارٍ، كما نلاحظ أنَّ هذا الثُّقب الأسود يمتلك أُفقَيْ حدثٍ منفصليْن، وكلما زادت الشحنة الكهربائية التي يحملُها الثُّقب الأسودِ، اقترب أُفقَا الحدث من بعضهما بعضًا.

فإذا كانت شحنة الثُّقب الأسود عالية بما فيه الكفاية، فإنَّ أفقَيْ الحدث سيقتربان من بعضهما بعضًا إلى درجة تجعلهما يختفيان بعدَ الالتقاء، وسيصبح الثُّقب الأسود عبارة عن نقطة متفردة وحيدة تُسمَّى «بالنقطة المتفردة العارية Naked Singularity»، ويعتقد العديد من علماء الفيزياء أنَّ مثل هذا الوضع لا يمكن أنْ يحدث، فهل من المعقول أنْ يتكون الثُّقب الأسود من نقطة متفردة فقط؟!

هناك مبدأ يُسمَّى بمبدأ «**الرقابة الكونية cosmic censorship**»، فهُم يعتقدون أنَّ هذا المبدأ هو ما يمنع المتفردات العارية من الوجود في كوننا، ذلك بأنَّ النقطة المتفردة العارية سُميت بذلك لأنها غير محاطة بأفق حدثٍ يُغطيها، والعواقب لوجود مثل النقطة المتفردة هذه هي موضوع نقاشٍ ساخن بين الفيزيائيين.

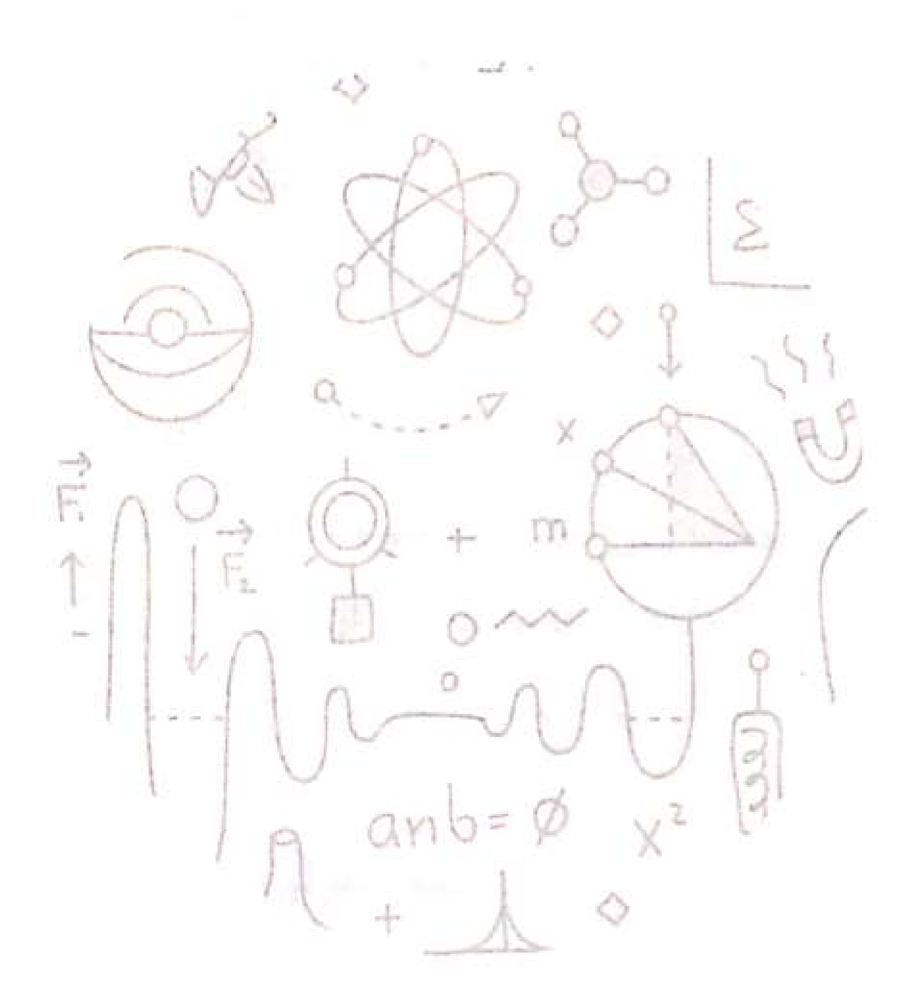
كان العالِمُ روجر بنروز واحدًا من بين العلماء الذين يوافقون على فكرة وجود نقطة تفردٍ عارية في كوننا الحقيقي ولكنه يرى أنه ستكون كارثة للفيزياء في الوقت نفسه؛ حيث ذكَرَ في كتابه: «يُقال أحيانًا إنه إذا حدثت حالات وجود نقطة تفردٍ عارية في كوننا، فإنَّ هذا سيكون كارثيًا للفيزياء».

وكما تعلمون، نتيجة لوجود أفقَيْ حدثٍ لهذا الثَّقب الأسود، فإنَّ ما سيحدث عند عبور المسافر لكليهما أنه ستتبادل أدوار المكان والزمان مرتين داخل المجال المُحيط بالأفق الداخلي (يُطلق عليه أحيانًا أفقَ حدث كوشي)، بحيث يعود المكان والزمان داخله إلى أدوارهما المعتادة، وبسبب ذلك يصبح من الممكن تجنُّب النقطة المتفردة ذات الطبيعة الزمنية، وهكذا اعتُبِر **الثَّقب الأسود رزينير-نوردستروم** كآلةِ زمنٍ كما الثَّقب الأسود كير.

رغم أنَّ **الثقوب السوداء رزينير-نوردستروم** دُرِسَتْ من الناحية النظرية، مِما يعني أنها موجودة في رياضيات نظرية النسبيّة العامة لآينشتاين، فإنه من غير المُرجّح أنْ تكون موجودة في الواقع؛ فإنَّ الثقوب السوداء في كوْننا الحقيقي نُرجِّح -غالبًا- أنها تدور، وأنها غير مشحونة، وهذه الصفة للثقوب السوداء (من نوع كير) لا يمكن أنْ تكون لغيرها من أنواع الثقوب.

المصادر:

- Black Holes and Wormholes Book \ by James Kolata.
- Deep Time Book \ by David Darling.
- Nasa Website.
- Nobel Prize Website.



الفصل الخامس

5

آلات للسفر عبر الزمن

"كان يُنظر إلى السفر عبر الزمن على أنه مجرد خيال علميّ، لكن نظرية النسبية العامة لآينشتاين تسمح باحتمال أننا نستطيع أن نحني الزمكان كثيرًا بحيث نتمكّن الانطلاق في صاروخ والعودة قبل الانطلاق".

ستيفن هوكينغ (1942-2018)

هل يمكننا السفر عبر الزمن؟ هل منكم مَن يؤمن بهذه الفكرة؟

- بالطبع لا، ليس منّا مَن يُصدّق الأساطير، أو يُؤمن بالخزعبلات، ولكنني أُفضّل أنْ أُصدّق بإمكانية بالسفر عبر الزمن، ربما لأنني أتمنى هذا كلما رأيت فيلمًا تدور أحداثه حول هذا الأمر.

- يبدو لي أنك تحبُّ الاستطلاع كثيرًا، وهذا جيد خاصةً في العلم، ولكن لا تدعْ هذا الشيء يسيطر عليك.

كلٌّ منّا يمتلكُ آراءً مختلفة، لكنني سأُجيب عن هذا السؤال لنقطع الشك باليقين.

هل يُمكننا السفر عبر الزمن؟ بالطبع نعم! نحن بالأصل نفعل هذا دائمًا: فنحن نسافر **لزمن المستقبل دائمًا**! فكما نلاحظ.. الساعة تزداد قراءتها مع حركة عقارب الساعة ويتقدم عمرنا ونكبر؛ وذلك لأننا نتحرك نحو المستقبل دائمًا، بالطبع لم تكُن هذه الإجابة التي تتوقعونها أو تريدون سماعَها. لكنّ السؤال الفعلي الذي يجب علينا طَرْحُه: هل يمكننا السفر عبر الزمن بمعدل مختلف عن المعدل الطبيعي؟ بما يعني أنْ نسافر إلى مستقبل الأرض أكثر؟! أيْ أنْ ترى ابنك بلحيةٍ بيضاء، مُمسكًا بعكازه الخشبي يتنزّه في حديقة منزلك وأنت ما زلت شابًّا! هل حقًّا قد نرى شيئًا كهذا؟ هل هنالك طريقة لذلك؟

ستُدهشك الفيزياء بأن الإجابة هي: نعم!

بسبب الظاهرة المعروفة باسم تمدُّد الزمن في نظرية النسبيّة لآينشتاين (كما تحدثنا سابقًا في الفصل الأول بالتفصيل)، وهي كأنْ نتحرك بسرعات عالية (نظرية النسبيّة الخاصة)، أو أنْ نذهب إلى كوكب يعمل انحناءً كبيرًا في نسيج الزمكان (نظرية النسبيّة العامة).

سؤالٌ محير آخر يحتاج إلى برهة من التفكير: هل لديكم الرغبة في السفر عبر الزمن والتقدُّم إلى المستقبل؟ أم العودة إلى الماضي؟!

حسنًا، سأجيب عنه حسب رأيي: قد أُفضّل أنْ أعود إلى زمن الماضي، حتى أسأل آينشتاين: «كيف ولماذا وَضَعَنا في هذه الورطة العلمية وتضارُب الأفكار؟».

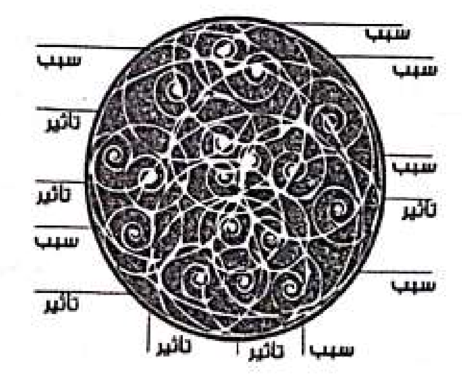
لكن كما ذكرنا سابقًا في الفصل الأول؛ حيث إنَّ التمدُّد الزمني يُمكِّننا من السفر عبر الزمن إلى **المستقبل فقط**، بينما لا يُمكِّننا من العودة لرؤية الماضي.

وهنا نقعُ في ورطة جديدة، إذ إنَّ إمكانية السفر عبر الزمن إلى الماضي تُشكِّل تهديدًا **لمبدأ السببيّة (Causality Principle)** الذي تحدثنا عنه مسبقًا، ولكن فكرة السفر عبر الزمن إلى الماضي باستخدام آلات خاصة للسفر عبر الزمن، قد تفتح الباب أمام العديد من المفارقات المزعجة التي يشعر العديد من العلماء بأنها مُمكنة، ومع ذلك، فقد كان الموضوع المُفضّل في الخيال العلمي للبشر منذ عام 1880م.

معنى الزمن كما كان يعتقد سابقا



ما هو المعنى "الحقيقي" للزمن؟



أنواع آلات السفر عبر الزمن

آلة الزمن هي **جهاز افتراضي** (وتحت مصطلح افتراضي 1000 خط) والاسم بحد ذاته يوضّح فكرتها، فهي آلةٌ قادرةٌ على جعلك تسافر عبر الزمن إلى الماضي فقط، أو ستُمكِّنك من السفر إلى المستقبل فقط، أو من السفر إلى الماضي والمستقبل معًا، حسب نوع آلة الزمن الموجودة.

سنتحدث الآن عن أنواع آلات الزمن المُمكنة والغريبة جدًّا، فكل نوع هو أغرب من الآخر حقًّا:

1. الثقوب السوداء التي تدور حول نفسها **فقط وليست التي لا تدور، فالتي لا تدور لا يمكنها جعلك تسافر عبر الزمن.**
2. كون جودلGodel Universe .
3. أسطوانةVanStokum .
4. حلقة Gott.
5. **Carp warp drive.**
6. الثقوب الدودية.

كل هذه الأنواع من الآلات قادرة على أنْ تجعلك تسافر عبر الزمن، وغيرها العديد، ولكنني سأقتصر على شرح بعضٍ منها فقط في هذا الفصل.

وقبل أنْ نغوصَ في هذا الموضوع معًا، سأطلب منك أنْ تفتح لي آفاقَ خيالك؛ لتستوعب كل ما سأعرضه عليك الآن، ففي علم الفيزياء ليس هنالك مكانٌ للمستحيل! فأطلِقْ العنان لخيالك!

1. الثقوب السوداء التي تدور حول نفسها

لماذا تعمل الثقوب السوداء الدوّارة حول نفسها كآلة للسفر عبر الزمن إذا ما دخلناها؟! وما الذي يؤهّلُها لذلك؟!

السبب هو وجود ما يُدعَى في الفيزياء **بتأثير Lense-Thirring**، والمعروف أيضًا باسم «**تأثير انجرار الإطار**».

ولكن ما قصة هذا التأثير؟! ولماذا هو يساعد في السفر عبر الزمن؟ تذكّر معي مثالَ الملعقة التي تدور في علبة النوتيلا.

فهو وبناءً على ما اكتُشِفَ في هذا التأثير، فإنَّ أيَّ جسمٍ دوّار صغير، مثل النجم النيوتروني أو الثَّقب الأسود، يتسبب في تحريك نسيج الزمكان القريب منه في اتجاه دورانه نفسه.

كما أنْ تُحضِر ملعقة وتقوم بتدويرها داخل علبة شوكولا نوتيلا، فإنه ستدور معها الشوكولا في الاتجاه نفسه، وهذا ما تفعله الأجسام الدوارة الصغيرة كالثقوب السوداء الدوّارة، الثقوب السوداء الدوّارة تعمل عمل الملعقة التي تجعل النوتيلا (نسيج الزمكان) يدور معها في اتجاه الدوران نفسه، وقد يؤدي دورانهم إلى تشكّل مسارات **شبه مغلقة للوقت time-like-closed**، ولكن ما هذه المسارات؟

هي مسارات تجعلك تسافر عبر الزمن للماضي من خلال الوجود في نسيج زمكان مُنحني نتيجة تأثير Lense-Thirring.

2. كون Gödel

إنَّ كون Gödel هو كون افتراضي، افترض وجودَه العالِم غودل «صديق العالِم آينشتاين»، كنتيجةٍ لحل معادلات نظرية **النسبيّة العامة**

المشهورة لآينشتاين، وهذا الكون يُعتبر كآلة زمن تساعدك على السفر عبر الزمن **إلى الماضي**.

إذن، فلنطلِق العنان لخيالنا مثل غودل حين طَرق باب كونه المجهول؛ حتى نستطيع أنْ نتعرف على هذا الكون أكثر.

نتساءل أولًا: ما خصائص هذا الكون؟

- إنه كونٌ لا نهائي.
- ثابت (لا يتوسع).
- يدور حول نفسه، وبسبب دورانه حول نفسه سيوجَد أفق بصري يُمكِّنُنا من السفر عبر الزمن.

أوه! إذن هذا هو كوْن غودل، فهل هو نفسُه كوْننا؟

لا! فقد أُثبِتَ أنَّ كونَنا يتوسع وليس ثابتًا، ولكن من المثير للاهتمام تصوُّر كَوْنٍ جديد بمعطيات جديدة تختلف عن معطيات كوننا، والمثير أكثر هو دراسة هذا الكون واختلافاته بناءً على نظرية تم تأكيدُها بشدة في التاريخ العلمي وهي **النسبيّة العامة**.

انتبه! فلو أنك حَلَلْتَ بعض المعادلات.. فقد تحظى بكونٍ خاصٍّ يُكتَب باسمك حسب الفيزياء! فقط اجتهد قليلًا واستعملْ عقلك كثيرًا مثل هؤلاء العلماء.

كان غودل من أحد أوائل العلماء الذين أثارت اهتمامهم فكرة احتمالية

السفر عبر الزمن، وقد كتب نظريته عن وجود كون غودل في ورقة عام 1949، لكن تُجُوهِلَتْ ورقته البحثية على نطاق واسع، كما شكّك العلماء فيها وافترضوا بأنها خاطئة، وأنَّ هنالك شيئًا ما في معادلاته سيُلغي فرضيتَه كاملة.

فماذا عنك؟ هل تؤيدهم في هذا الرفض التام؟ أم كنت ستعطيه فرصة؟

كما حاول الفيزيائيون ومنهم آينشتاين دون جدوى العثور على خطأ في فيزياء غودل، أو عنصر مفقود في نظرية آينشتاين «النظرية النسبيّة» نفسها، بحيث يمكّنهم هذا العنصر من استبعاد تطبيق نتائج غودل أو وجود أي كَوْن يُدعَى بهذا الاسم، لكن دون جدوى!

كأن تأتي لي وتقول: انظر! إنه الحوت الأزرق يطير في السماء! بالطبع لن أصدّقك، بل سأحاول بكل جهدي التشكيك بنظريتك المبهمة غير المنطقية تمامًا، وهذا ما فعله العلماء عندما قال لهم غودل إنه يوجد كونٌ آخر، ووصَفَه بمواصفات خاصة وسمّاه بكَون Gödel.

ولكن مع كل هذا التشكيك.. لم يستسلم العالِم غودل قط، واستمر في إطلاق عنانه في علمه الذي يحب، وازداد شغفه بالفيزياء، وقدّم لنا فكرتيْن جديدتيْن:

1. في عام 1949 قَدَّم غودل «**مفارقة الجَدّ**» الشهيرة (سأتحدث عنها في الفصل السادس)، مفارقة ولا أروع! لا تفوِّت قراءتها.
2. اشـتُهِر العالِـم غـودل أيضًـا **بنظريـة عـدم الاكتمـال incompleteness theorem**، ومـن مفـاد هـذه النظرية أنه لن نصـل إلى نظريـة تُوحّـد كل قوانين الفيزياء، ولـن نصل يومًا إلـى نهايـة للعِلم (هذا شـيء رائع وشـرير من غـودل)؛ فكل نظريـة سنكتشـفها مـن خـلال الإجابة علـى بعض الأسـئلة، سـتفتح لنا أسـئلةً أخـرى لنخـرجَ بنظريـاتٍ أخـرى، وهكذا لـن ينتهي العلـم أبـدًا مهمـا فعلنا.

قد استخدم عالِمُنا **الرياضيات والمنطق** في الوصول إلى هذه النتيجة، وهذه النظرية جميلة ومخيفة في الوقت نفسه؛ **جميلةٌ** لأن العلمَ جميل، والبحث فيه لإعمار الأرض جميلٌ أيضًا، ومعرفة أنَّ العلم لا ينتهي يجعل لك طموحًا في حياتك كي تبحث أكثر لتعرفَ المزيد، وتكون من الرائدين في الوصول إلى حُلمك في المجال الذي تطمح، ولكنني وصفتها بالمخيفة أيضًا لأنها تسُد الطريقَ في وجه الفيزيائيين بأنْ يصلوا إلى نظرية تكاد تكون حُلمَ كل عالم فيزياء مُعاصر، وهي «**نظرية كل شيء**»؛ فبنظرية غودل هذه افترض أنه لن يصلَ أحدٌ إلى هذه النظرية أبدًا.

مع أنَّ كثيرًا من العلماء كانوا وما زالوا يطمحون إلى الوصول إلى هذه النظرية، ومنهم العالِم **ستيفن هوكينغ** الذي أفنى حياتَه من أجل الوصول إليها، ولشدة اهتمامه بهذه النظرية فقد أُنتِج فيلم خاص به يُدعَى بفيلم «**نظرية كل شيء** The Theory of everything» (ولكن سأتحدث عن هذه النظرية أكثر في الفصول الأخيرة).

لنرجع مرة أخرى لأنواع آلات السفر عبر الزمن لنستكمل حديثنا...

3. أسطوانة VanStokum

اعتُبِرتْ أسطوانة VanStokum نوعًا من آلات الزمن التي تعتمد على دوران أسطوانة افترضَ وجودَها العالِم Goargevan Stokum في مكانٍ ما في الكون (لا نعرف كيف تكوّنت وما شكلها؛ فكل ما توصّل إليه العالِم ستوكام بالمعادلات هو أنَّ هذه الأسطوانة موجودة في الكون في مكانٍ ما)، بحيث تدور هذه الأسطوانة بسرعات هائلة قريبة من سرعة الضوء.

أدركَ العالم الفيزيائي **جورج فانستوكم** في عام 1937م أنَّ مثلَ هذا الجسم سيحرك نسيجَ الزمكان خلال دورانه من خلال تأثير Lense-Thirring -كما تحدثنا عن الملعقة في صحن النوتيلا-، بحيث إنَّ الإبحار حول هذه الأسطوانة يمكن أنْ يؤدي إلى مسارات مغلقة شبيهة بالوقت، مما سيُمكّننا من السفر عبر الزمن.

الجدير بالذكر أنَّ هنالك العديد من العلماء الذين يؤمنون باستحالة وجود هذه الأسطوانة؛ لعدة أسباب فيزيائية ورياضية تحول دون وجودها على أرض الواقع، فكما ذكرنا من قبل.. ما دام لا يوجد أي شيء مادي ملموس، سيظل كل شيء افتراضيًّا وسيظل العلماء في صراعات سلمية مع أفكار بعضهم بعضًا؛ ذلك بأنَّ المعادلات والنظريات لا تُسمن ولا تُغني من جوع في غياب الحقائق المادية الملموسة.

4. الثقوب الدودية Wormholes

هنا سيتحول الخيال إلى حقيقة؛ فالثقوب الدودية من أكثر الأمور روعة في الفيزياء، وهي من أكثر المواضيع التي تدهشُني فيها.

الثقوب الدودية هي مثل النفق الذي اعتدنا على رؤيته في دعايات قناة سبيستون للأطفال، فهو النفق الذي إذا دخلتَه قد تصل إلى كون آخر، أو إلى مكان آخر بسرعة وفي وقت قصير.

كما أنها ليست خيالًا تخيَّله العلماء، بل نتاجَ معادلاتٍ رياضية قوية لآينشتاين في نظريته المشهورة نظرية «النسبيّة العامة».

وبما أننا أصبحنا نعلم ما هو نسيج الزمكان -كما في الفصل الأول- فاسمحوا ليَ الآن أنْ أُعرّفَ لكم هذا الثَّقب الدودي بأسلوبٍ علمي مُبسَّط.

حسنًا، إذن ما الثَّقب الدودي الفضائي الافتراضي؟

هو «نفق» يؤمِن العلماء بأنه موجود، يربط بين أي نقطتيْن مختلفتيْن في نسيج الزمكان بطريقة ما، فإذا دخلتَه (جهِّز نفسَك لمغامرة سريعة) ستستغرق الرحلةَ عبر الثُّقب الدودي وقتًا أقل بكثير من رحلة بين نقطتيْ البداية والنهاية نفسها في الفضاء الطبيعي الذي نعيش فيه.



مما يعني لو دخلتَ الثُّقب الدودي لتسافر إلى مكانٍ ما «كوْن آخر أو كوكب آخر في كوْننا نفسه»، فستستغرق وقتًا قليلًا ربما بضع دقائق أو ثوانٍ بدلًا من أنْ تستغرقَ مئات، آلاف، ملايين أو حتى مليارات السنين لتصل إلى وُجهتك إذا سافرتَ بالطريقة الاعتيادية في المركبة الفضائية. وهنا -بالفعل- مثلما يصوّرونها في الأفلام الخيالية، أنك -مثلًا- إذا عبرتَ فقط حائط غرفتك السرّية، ستكون في عالَمٍ آخر بكل سرعةٍ وخفة.

وكما قُلنا يمكن أنْ توصلَك نهايات الثُّقب الدودي الذي ستدخله إلى مكانٍ آخر في نسيج الزمكان يكون داخل الكون الأصلي الذي تعيش فيه، وتُسمَّى هُنا نهاية الثُّقب الدودي بـ inter-universe، **ويُمكن أيضًا أنْ توصلك نهايات الثُّقب الدودي إلى كوْنٍ آخر، في هذه الحالة تُدعَى نهاية الثُّقب الدودي بـ intra-universe.**

إذن سنتعرف على كيفية نشأة الثقوب الدودية وهل من الممكن تصنيعها؟ نشأت الثقوب الدودية كحلولٍ لمعادلات نظرية النسبيّة العامة لآينشتاين، ويعتقد بعضُ علماء الفيزياء النظرية بأنَّ الثقوب الدودية قد يُعْثَر عليها أو تُصنَّع في المختبرات، وربما تُستَخْدَم في السفر عبر الزمن، هل لك أنْ تتخيل هذا؟!

ومع ذلك، فإنَّ الثقوب الدودية **صغيرة جدًا**، بحيث لا يُمكن أنْ ندخل من خلالها. (هذا شيءٌ مطمئنٌ قليلًا، وإلّا كان كل شخص امتعضَ من الحاضر دخل إلى الثَّقب الدودي المفضل لديه).

وهي أيضًا **غير مستقرة**، وربما تنهار على الفور في حال تَمكُّننا من فتحها قليلًا، حتى لو حاولتُ أصغر كمية من المادة مثل الفوتون الواحد المرور عبرها.

أوه! إنها هشّة للغاية وليس مثلما تخيَّلنا.

وهناك طريقة محتملة لحل هذه المشكلة، وهي استخدام مواد غريبة بكثافة هائلة؛ لمنع إغلاق الثَّقب الدودي مرة أخرى مثل **المادة السالبة**، كما أنَّ هنالك العديد من العلماء استحالوا إمكانية فتح هذه الثقوب، مثل **ستيفن هوكينغ**.

والآن، بعد أنْ تحدثنا عن أشهر آلات الزمن المعروفة لدى الفيزيائيين، برأيكم لو أنَّ آلات الزمن هذه موجودة، لماذا لم نرَ أيَّ مسافر عبر الزمن من الماضي أو الحاضر؟ هل لأننا لا نملك نظاراتٍ فضائية -مثلًا- لنرى ما يحدث في الفضاء؟

ليس هذا هو السبب بالطبع، لكن كان لا بد من وجود سبب منطقي إلى حدٍ ما.

أما الإجابة عن سؤالنا، عن سبب عدم رؤيتنا لمسافرين عبر الزمن سنجدها في **مفارقة العالِم «فيرمي»**، لكن قبلًا.. مَنْ «فيرمي»؟ «إنريكو فيرمي»: هو فيزيائي ذو جنسيّة مُزدوجة، يمتلك الجنسية الإيطالية والأمريكية، حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1938م، وهذا قبل وفاته بستة عشر عامًا، حيث تُوفي في عام 1954م، كما كان من ضمن فريق عمل لمُفاعل نووي وأول قنبلة ذرية.

سألَنا فيرمي سؤالًا قد تراه فكاهيًا، ولكنه تساءل بتساؤلٍ أسماه «**أينَ الجميع؟**» خِلال مُفارقته الشهيرة والمعروفة باسم «**مُفارقة فيرمي**»، وهي مفارقة اعتبر فيها (وفقًا للمعطيات العلمية) ما يلي:

- كوْنَنا لا يحتوي على أي شيءٍ مميز.
- لم يعتبرنا نحن البشر مميزين.
- افترض أنه قد توجد كائنات في كوْننا تشبهُنا أو أذكى منّا.

(فالشمس نجمٌ عادي يوجد مثلُه ملايين النجوم، ومعظم هذه النجوم تحوي كواكب عادية مثلها تمامًا)، ويقول إنه من الممكن أنْ يوجد العديد من الكواكب في كوْننا مثل كوكب الأرض.

- يقول إنه مَهما كان عدد الحضارات التي تعيش هنا أو هناك في الكون.. فإنَّ احتمالية وصول إحداها إلى كوكب الأرض (ما نعتبره مستحيلًا) **شيءٌ محتمل الحدوث**، لذا فلا بُد وأنْ تكون إحداها قد وصلت إلينا أو تركت أثرًا ما، أو كانت على كوكب الأرض من قبل.
- يضيف.. إنَّ هذا كلامٌ منطقي ورياضي، لكنه فعليًا يعلم أنه لن يحدث على الإطلاق؛ ولهذا أسمَاها «**بمفارقة فيرمي**».

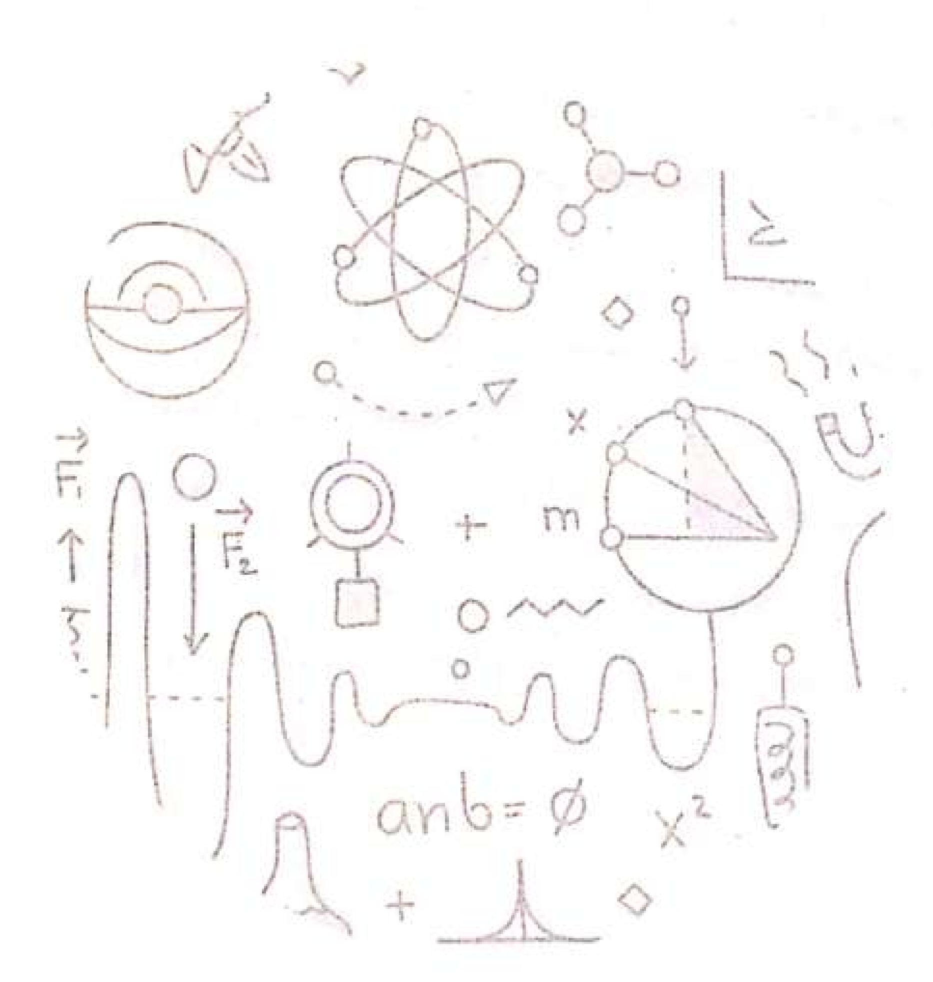
وبما أنَّ كل حديثنا إلى الآن يُعتَبر نظريًا افتراضيًا وليس حقيقيًا، اقترحَ العلماء بعضَ الحلول لمفارقة فيرمي:

- الكائنـات الفضائيـة موجـودة في الكون لكنهـا لا تتواصل معنا .
- أو إنَّ الكائنات الفضائية موجودة في الكون وتحاول التواصل معنا، ولكننا لا نتمكّن من سماعها.
- أو إنَّ الكائنات الفضائية كانت موجودة في وقتٍ لم نكُن نحن فيه (ليس بالضرورة أنْ يكونوا مرُّوا على الأرض)، أيْ اختفوا تمامًا دون أي أثرِ (دمّروا أنفسهم أو دمرَهُم شيءٌ ما، كما قد يحصل مع البشر في حال نشوب حرب نووية).
- أو قد نكون غير مُهمين بالنسبة إليهم (فقد يكونون متطورين لمراحل قد تجعلُنا بنظرهم كالنحل -مثلًا- بالنسبة إلى البشر، فهل فكّر البشر يومًا ما بالتواصل مع النحل؟ رغم أنهم أمامنا يعملون طوال الوقت وينظمون أنفسهم).

وهذا هو المشوّق دائمًا في العلم.. اعتقادنا بوجود ما لا نراه، واعتقادنا بأننا يومًا ما سنراه، أو أننا يومًا ما سنتعايش معًا.

المصادر:

- Time Travel in Einstein's Universe Book: The Physical Possibilities of Travel Through Time Book \ by J. Richard Gott III.
- Time Travel book Book \ by James Gleick.
- Black Holes Book \ by Stephen Hawking.



الفصل السادس

6

معضلة الجَدّ

Grandfather Paradox

"أنا شخصيًّا أعتقد أنه سنتمكّن يومًا ما من السفر عبر الزمن لأننا عندما نجد أن شيئًا ما غير محظور حسب قوانين الفيزياء، فإننا عادةً ما نجد في النهاية طريقة تكنولوجية للوصول إليه".

ديفيد دويتش

هل قرأتَ عنوان الفصل قراءة صحيحة؟ أعتقدُ أنك لم تفعلْ من المرة الأولى، لكن سيتضح لكَ كل شيء الآن.

هذه المعضلة من أكثر المعضلات إثارةً في الفيزياء، وأشدُّها تشويقًا، والمعضلة كالتالي: تخيَّلْ بأنك تكره حياتك، وتريد أنْ تُنهيها بشكلٍ كامل بطريقةٍ علميةٍ لئلا تقع تحت جناح الانتحار (نحن أناسٌ نتجه للعلم حتى بالأفكار الشريرة)، لذلك نقترح عليك السفرَ عبر الزمن نحو الماضي، وأنْ تقتل جَدَّك حتى لا تُولَد من الأصل، لكن السؤال هنا.. هل لن تُولَد حقًّا لو قتلتَ جَدّك؟! وإنْ كان كذلك فكيف سافرت إلى الماضي لقتل جَدك؟ معضلة مضحكة ومثيرة للجدل حقًّا! لكنها ما زالت معضلة أو مشكلة لم تُحَل.



معضلة الجَد (Grandfather Paradox) هي مِن أشهر المعضلات والمفارقات الفكرية المتعلقة بالسفر عبر الزمن، وهي أحد الأسباب التي تجعل البعض مقتنعين باستحالة السفر عبر الزمن أو إلى السفر عبر الزمن للماضي بالتحديد.

لماذا تستحيل الفكرة؟ نظرًا للتناقضات التي تؤدي إليها إمكانية التأثير في أحداث الماضي، حيث يصبح الحاضر الناتج عنه مستحيلَ الحدوث، وبذلك تصعُب علينا فكرة إمكانية السفر عبر الزمن للماضي وتغييره.

فحسب كتاب «Logical Reasoning» للفيلسوف **برادلي دويين** الذي يقول: «لم يَبْنِ أحدٌ آلةَ زمنٍ تستطيع نقل الشخص إلى زمنٍ ماضٍ، ويجب ألا يحاول أيُّ شخصٍ أنْ يبني هذه الآلة، لأنه لا يوجد حقًّا سببٌ جيد يدعونا لتصديق أنَّ مثل هذه الآلة يمكن أنْ توجد، بل على العكس تمامًا، افرض أنك وجدتَ آلة زمن الآن، ويمكنك -بالفعل- الدخول فيها للعودة إلى زمنٍ سابق، في هذه الحالة يمكن لأفعالك بطريقة ما أنْ تمنعَ التقاءَ جدك وجدتك، لذا تلغي وجودك، ومِن ثَمَّ تلغي فعلك المبدئي (دخول آلة الزمن)، لذلك فإنَّ ادّعاء إمكانية وجود آلة زمن هو -بالفعل- قولٌ يناقض نفسَه».

والذي حدث في فيلم (سمير وشهير وبهير) لا يمكن أنْ يكون حقيقيًّا أبدًا؛ فلا يمكن أنْ تعودَ للزمن وترى أمك وأباك قبل أنْ يلتقيا، وتجلس وتعيش وتأكل معهما، إنه محض فيلم كوميدي بامتياز!

لكن وُصِفَتْ المفارقة للمرة الأولى سنة 1931م، وكان اسمها حينها **«الجدال القديم عن منع ولادتك بواسطة قتل جدك»**.

لكن الغريب في الموضوع بأنَّ السفرَ عبرَ الزمن للماضي يبدو محتملًا جدًّا كما درسنا مرارًا وتكرارًا في الفصول الماضية.

العالِم **ستيفن هوكينغ** لم تعجبه فكرة السفر عبر الزمن للماضي قط، وعبّر عن ذلك سنة 1992م بأنه من المستحيل أبدًا إمكانية السفر عبر الزمن للماضي، ولكن ليُبرّئ العالِم **ستيفن هوكينغ** المشهور ذمته

بإمكانية السفر عبر الزمن أولًا، فكَّر في اتخاذِ خُطوة مجنونة لم يَخْطُها شخصٌ قط -لا قبله ولا بعده-، بماذا فكَّر هوكينغ؟!

استعد جيدًا...

أعلنَ عن إقامَتِه لحفلٍ سنة 2009م، ودعا إليه المسافرين عبر الزمن من المستقبل إلى زمننا، والأغرب من هذا بأنه جلسَ ينتظر الحضور على كرسيه، لكنّ أحدًا لم يحضر، نعم، هذه هي الفيزياء وما تفعله بعقول العلماء.

والغريب بأنه لم يكُن أحدٌ من متابعي العالِم ستيفن هوكينغ متفاجئًا؛ لأنه أصلًا أرسل الدعوات للحفل على مواقع التواصل الاجتماعي بعد انتهاء الحفل حتى لا يأتي أي شخص من الحاضر ويقول بأنه قادم من المستقبل، (خطة في منتهى الدهاء والذكاء)، أظنُّنا بحاجة إلى أنْ نتعلم منه كيف نبرهن حجتنا أمام الآخرين حتى لو كانت الطريقة مجنونة بعض الشيء!

بذلك استطاع عالمُنا أنْ يبرهن أنه لم يستطع أحدٌ السفرَ عبرَ الزمن من المستقبل والعودة للماضي لحضور الحفل! لقد أعجبتني الفكرة حقًّا! وبهذا أكد العالِم **ستيفن هوكينغ** توقعاته التي أسفر عنها سنة 1992 بعدم إمكانية السفر عبر الزمن.

ولكن كما ذكرنا فإنَّ الغريب في الموضوع بأنَّ السفر عبرَ الزمن للماضي يبدو ممكنًا جدًّا حسب **نظرية النسبيّة العامة**، كما تحدثنا سابقًا؛ لذلك اقتُرِحَت حلول نظرية لتلافي التناقض المترتب عن معضلة الجَد مع السفر عبر الزمن، وبذلك أوجدَ العلماء حلولًا لتغاضي فكرة أنه لا يُمكننا السفر عبر الزمن للماضي، وحلولًا لمعضلة الجَد التي تحدثنا

عنها في بداية الفصل، وجعل المستحيل مُمكنًا، وجعل السفر عبر الزمن للماضي ممكنًا.

فكما نقول عادةً: ما مِن شيءٍ إلا وله حل، أو أنه لا يوجد شيء مستحيل؛ فهذا كان شعار العلماء الذين حاولوا وضع مبادئ ونظريات وقواعد علمية تساعدُنا في حل **معضلة الجَد**، ومنها توصّلوا إلى مبدأين اثنين لهما أهمية كبيرة:

1. مبدأ الاتساق الذاتي للعالِم نوفيكوف:

اسم المبدأ غريبٌ جدًّا، ومعناه أكثر غرابة وعجبًا، فيقول بأنه حتى لو حاولتَ السفرَ عبر الزمن للماضي وعُدتَ بالفعل، فإنَّ قوانين الفيزياء ستمنعُك من تغيير الماضي المُهم مَهما حاولت أنْ تفعل؛ حيث إنَّ الكون يفضّل منعَ تغيير الأشياء المُهمة، بما يعني، يمكنُك القيام بعدة أمور لن تغيّر في أحداث الكون المستقبلي، بينما الأحداث التي ستتمكّن من تغييرها هي التي ليس لها قيمة تُذكَر، كأنْ تُغيّر العصير الذي يشرب منه والدك مثلًا، من عصير برتقال إلى عصير تفاح، هذا ليس بالحدث المُهم، ويمكن تحقيقُه، بينما الأمور الصعبة التي تغيّر في مجريات الكون كولادتك، فإنَّ قوانين الفيزياء ستعمل على منعك من تغيير أي شيء يتعلق بها، وستسعى بطريقة أو بأخرى بجعل الأحداث متسّقة مع الكون في المستقبل.

إذن.. هنا يحاول نوفيكوف حل الأجزاء غير المُهمة، ومن الواضح أنه لا يهتم بالأجزاء المُهمة من الماضي.

أحد الأمثلة المُضحكة التي تحدّث فيها العلماء، بأنه حتى لو سافرَ أحدُهم وعاد في الزمن بالضبط قبل اصطدام سفينة التيتانك بالجبل الجليدي، وقال للقبطان بأنَّ السفينةَ ستغرق، لن يسمعَه القبطان مَهما

صرخ وحاول ذلك؛ لأن الكون سيمنعُك من ذلك، وربما سيجعلُك وهميًّا (أيْ: جسمًا شفافًا) في تلك اللحظة، ولن تستطيعَ عندها أنْ تُسمِع القبطانَ مهما صرختَ، ولن تستطيعَ تغيير أحداث الماضي مهما فعلت.

إذن، فإنَّ المبدأ يقول بإمكانية السفر عبر الزمن إلى الماضي دون تغييره (تغيير المجريات المستحيلة)، ولن يحدث هنا أيُّ مخاطر أو مفارقات مثل مفارقة الجد، يعني باختصار.. الفيزياء حول أو في «المنحنيات الزمنية المغلقة»، لا يمكن أنْ تتجاوز قواعد الفيزياء القواعد الخاصة بالكون، كما أنَّ قوانين الفيزياء ستسعى بطريقة أو بأخرى لجعل الأحداث متسقة مع الكون ومع ما يجري فيه، فأي شيء سبق أنْ حدث، لا بد أنْ يحدث، ولا يستطيع المسافر عبر الزمن أنْ يغيّره مهما حاول.

لن تستطيعَ تغييرَ واقع ولادتك، ولا تستطيع أنْ تمنعَ غرق تيتانك وآلاف الضحايا، ولكن تستطيع فقط تغيير عصير والدك من البرتقال إلى التفاح! يا له من تغيير جذري! فقط أَجِّلْ رحلة العصير إلى رحلة أخرى ذات أهمية أكبر. أعتقدُ أنَّ والدك لن يمانعَ أنْ يشربَ البرتقال.

2. **الأكوان الموازية:** (أو مثلما نقول الآن: عالم موازٍ)

فكرة الأكوان الموازية هي أنه عندما تعود بالزمن لقتل جَدك (مظلومٌ هذا الجَد معنا كثيرًا)، فإنك فعليًّا لن تكون في الكون نفسه الذي كنتَ موجودًا فيه، بل ستكون في كونٍ موازٍ، وكل أفعالك التي ستفعلها في ذلك الكون ستؤدي إلى خلق كونٍ جديد مختلف، يبدأ زمنُه من تلك اللحظة التي عُدتَ فيها إلى الماضي، ويكون في هذا الكون جَدك مقتولًا فيه، وأنت فيه لم تُولد.

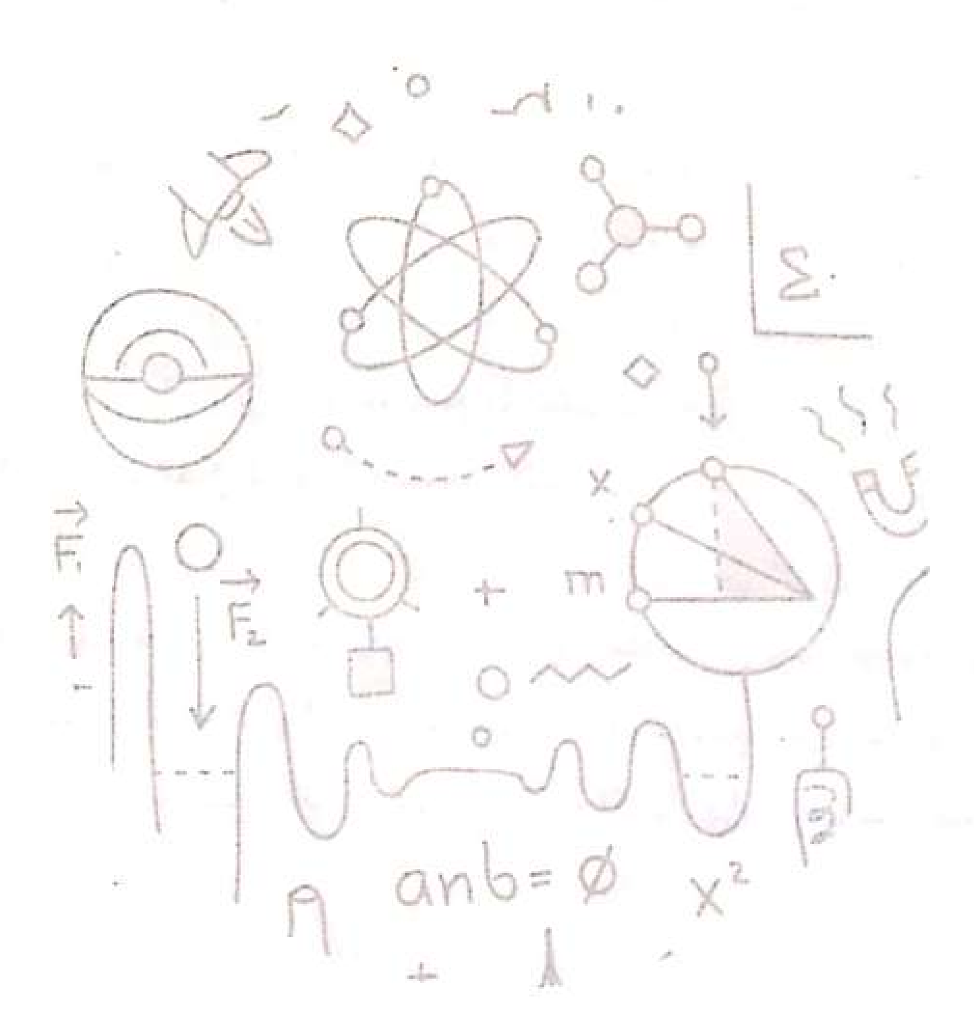
وهكذا كل تغيير تقوم به في زمن الماضي يؤدي إلى خَلْق كونٍ جديد، لتخرج بعدد لا نهائي من الأكوان الجديدة لكل تغيير قُمت به في زمن الماضي.

ويمكن أنْ يحدث هذا حتى في حالة سفرك للماضي وقتل نفسك، وهكذا يُخلَق كونٌ آخر موازٍ لكوننا الأصلي، في الكون الأول الأصلي أنت موجود فيه حي وسليم، بينما في مستقبل العالم الموازي الجديد الذي تكوَّن من تغيير الماضي لن تكون موجودًا أبدًا.

قد حيّرت هذه المعضلة العلماء لوقتٍ طويل، وخاصة مُناصري السفر عبر الزمن منهم، وظلّ الأمر على هذه الحال حتى أواخر العام 2014 عندما وضع مجموعة من العلماء نموذجَ كشفٍ **-باستخدام الفوتونات- بقولهم** إنَّ علم **ميكانيكا الكم** في الفيزياء قادرٌ على حل هذه المعضلة، الفكرة طويلة جدًّا، ولكن النتيجة من هذا النموذج أو التجربة أنه يمكن للفوتونات أنْ تسافرَ عبر الزمن للوراء، ولكن إلى الآن لا نعرف مدى إمكانية الإنسان لفعلها؛ فالإنسان ليس فوتونًا وليس شفافًا، هو فقط يحاول اكتشافَ الجديد، أو القديم مثل الماضي، ولن يتوقف حتى يستطيع إثبات شيء، إما مُعاكسًا، وإما يتماشى مع تيار السفر عبر الزمن.

المصادر:

- The Grandfather Paradox Book \ by Steven Burgauer.
- Notes on The Grandfather Paradox \ MIT University.
- Logical Reasoning Book \ by Bradley Dowden.



7

الفصل السابع

سحر ميكانيكا الكمّ

"مَن لم تصدمه ميكانيكا الكم فهو لم يفهمها بعد!".

نيلز بور (1885-1962)

سنبدأ الآن بالجزء الثاني من الفيزياء، لننسَ كل شيءٍ درسناه في الفصول الأولى تمامًا، ولنبدأ الآن بدراسة العالَم الصغير (عالَم الذرات).

نحن على وشك السقوط في حفرةٍ عميقة من الجنون، سنصطدم بحقائق من المستحيل أنْ يتقبّلها العقلُ، ستعرف كيف تختفي أو تذهب من مكانٍ إلى آخر بعيد، أو تخترق الحائطَ، والكثير من الظواهر الغريبة التي ستكشفُها لنا نظرية ميكانيكا الكم، والتي لا يصدّقها العقل.

نظرية ميكانيكا الكم هي النظرية التي قال فيها **العالم نيلز بور** جملته المشهورة: «من لم تصدمه ميكانيكا الكم فهو لم يفهمها بعد»، وهي النظرية التي قال فيها العالم **آينشتاين** من صدمته فيها: «ليتني كنت إسكافيًّا أُصلح الأحذية، أفضل لي من أنْ أكون فيزيائيًّا»، فهي التي تتنافس عليها الدول الآن، ويدفعون الملايين بل المليارات عليها لأسبابٍ علمية خَطِرة سنتعرف عليها لاحقًا.

إذا كنتَ ترغب في معرفة كيفية تحرُّك الإلكترونات عبرَ شريحة الكمبيوتر، وكيف تتحول فوتونات الضوء إلى تيارٍ كهربائيّ في لوحةٍ شمسية، أو كيف تضخم نفسها في الليزر، أو حتى كيف تستمر الشمس في الاحتراق دون توقف، فستحتاج إلى ميكانيكا الكم؛ فقد قدمت ميكانيكا الكمّ البنية الأساسية لمعظم العلوم الحديثة وكيفية عمل الذرات، ميكانيكا الكمّ تدرسُنا -أنت وأنا والكون كله على مستوى صغيرٍ جدًّا جدًّا- أيْ: تدرس ذراتنا وتصرفاتها، فنحن نرقص جميعًا على اللحن الكميّ، فدون هذه النظرية لم نكُن لنحصل حتى على الطاقة النووية أو القنبلة النووية، ولا حتى على الأجهزة في حياتنا اليومية، ولا عرفنا حتى كيف تعمل علوم الكيمياء والبيولوجيا على هذا النحو، ودونها لما تأسست علوم الجزيئات الحيوية والهندسة الوراثية، كما قال العالم باول ديراك: «لقد فسّرت ميكانيكا الكم كل الكيمياء ومعظم الفيزياء».

السببُ الرئيسُ في ظهور ميكانيكا الكمّ كعِلمٍ هو الفشل الذي لاقته الفيزياء الكلاسيكية (النيوتونية) في تفسير العديد من الظواهر على المستوى الذري أو حتى العديد من الظواهر على مستوى الكون الشاسع وأجرامه المرعبة فائقة الضخامة مثل الثقوب السوداء والنجوم العملاقة.

في الحياة اليومية، نحن نفهم فَهمًا بَدَهيًّا كيف يعمل الكون؛ أَسقِطْ -مثلًا- كوبًا وسيتحطم على الأرض، ادفعْ عربةً وسوفَ تتدحرجُ، حاول أنْ تمشيَ على الحائط -لن تتمكّن من ذلك طبعًا- لذلك هناك قوانين أساسية للفيزياء تدور حولنا في كل مكانٍ ندركُها غريزيًّا؛ فطبعًا الجاذبية تجعل الأشياء تسقط على الأرض، ودَفْع شيءٍ ما يجعله يتحرّكُ، ولا يوجد شخصٌ في العالم يمكنه أنْ يكون موجودًا في مكانيْن في الوقت نفسه، ولكن ستُصدَم عند دراسة ميكانيكا الكمّ أنَّ هناك الكثيرَ من الأمور الخارقة للعادة تحدث في عالم الذرات التي تُكوِّنُنا.

فقد كان يعتقد العلماء أنَّ جميع القوانين الأساسية في الفيزياء والتي نعرفُها في حياتنا يجب أنْ تُطبّق على كلّ شيءٍ في الطبيعة - لكنهم بدؤوا بعد ذلك في دراسة عالم الذرات والإلكترونات وموجات الضوء، وصُدِموا بعدها أنه عالمٌ لا يتبع القواعد المتعارف عليها في قوانين الفيزياء الكلاسيكية التي عرفوها مسبقًا، فعندما بدأ علماء الفيزياء مثل ماكس بلانك، وهيزنبيرغ، وشرودينغر، ونيلز بور، وألبرت آينشتاين وغيرهم في دراسة الجُسيمات، اكتشفوا قوانين فيزيائية جديدة كانت صادمة تمامًا وسُمِّيَت بـ **قوانين ميكانيكا الكم**.

كما تعلّمنا في نظرية النسبيّة العامة لآينشتاين ودرسنا الأجسام الكبيرة مثل جسم الإنسان أو كوكب الأرض أو المجرات والنجوم، واختبرنا كل ما في هذا العالَم الكبير، أما في عالَم ميكانيكا الكمّ سنبدأ بالتعرف على عالمٍ آخر مخفي نحن لا نراه، سندخل في أعماق

الذرة، وسندرس الذرات التي تكوّن كل الأجسام التي نراها، فكلّ شيءٍ في الكون نراه يتكوّن من ذراتٍ صغيرة جدًّا جدًّا بحيث هذه الذرات كما درسنا في المدرسة تتكون من إلكترونات تدور حول نواةٍ موجبة الشحنة تحتوي على بروتوناتٍ موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة الشحنة، وهذه الذرات تُكوِّن أي شيءٍ موجود في الكون، بحيث ما يميِّز أيّ ذرة عن الأخرى لتكوين عنصرٍ ما عدد البروتونات والإلكترونات والنيوترونات (فقد درسنا موضوعَ الذرة ومفهومها مِن قبل في أحد الفصول الماضية).

ولكن بالرغم من أنّ عالَم الذرة عالمٌ مختلفٌ عنَّا تمامًا تتصرف فيه الجُسيمات الصغيرة تصرفات غريبة لا يتقبّلها العقل، **الشيء المضحك** أنّ نظرية ميكانيكا الكم التي تدرس هذا العالم العجيب تُعتَبر من أدق النظريات في تاريخ العلم إنْ لم تكُن أدقّها، لما لها من تطبيقات في حياتنا رغم عدم قدرتنا لفَهم الظواهر العجيبة فيها، باختصارٍ كلما ترى صدمة من صدمات ميكانيكا الكم، أَمسِكْ نفسَك وتحدّث بداخلك بأنَّ هذا العلم المجنون والخارق للعادة هو علمٌ مُهمٌ جدًّا؛ إذ تطوّرت ميكانيكا الكمّ على مدى عقودٍ عديدة، وبدأتْ كمجموعة من التفسيرات الرياضية المثيرة للجدل إلى تجارب لم تستطع الرياضيات الكلاسيكية تفسيرها، بحيث بدأتْ في مطلع القرن العشرين، في الوقت نفسه تقريبًا الذي نشرَ فيه ألبرت آينشتاين نظريتَه في النسبيّة.

ملاحظة: هناك الكثير من الصدمات العلمية الغريبة في ميكانيكا الكمّ الخارجة عن المنطق، ولكن اختصرت لكم أبرز 10 صدمات سهلة التفسير لمختلف الفئات العمرية والتخصصات.

الصدمة الأولى في ميكانيكا الكمّ

«الفراغ ليس فارغًا»

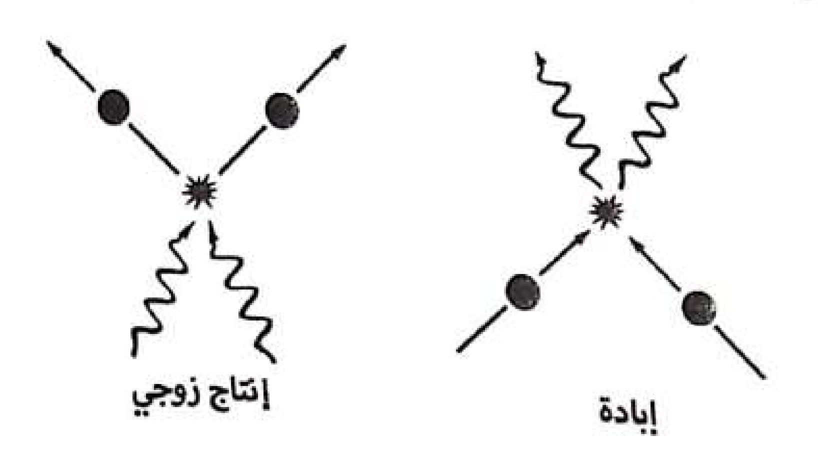
هل هذا معقول؟! فلو فرّغت غرفتي -مثلًا- من كل شيءٍ من أدوات وحتى فرّغتها من الهواء، فهل بهذه الطريقة ستكون فارغة؟! ستُصدَم بكلام ميكانيكا الكم؛ إذ تقول مَهما فرّغتَ غرفتك من كل شيءٍ فستكون هناك أشياء لن تستطيع أنْ تراها، كيف هذا؟! وما هي؟ وما الدليل على ذلك؟

كانت نظرتنا للفضاء على المستويات الذرية وما دونها على أنه **يكون فارغًا تمامًا**، لكن السؤال الذي سيوقف عقولنا لوهلةٍ أمامه قبل النطق بكلمة: «هل الفضاء فارغٌ حقًّا؟»، دعنا نتخيَّل أننا نقلص حجمنا بلايين المرات لنصبح بحجم الذرة، حينها ستكتشف عالَمًا آخر مختلفًا عن عالَمك الكبير يعجّ بالنشاط، ومع أنه فارغٌ بنظرك ستُصدَم بأنه ستظهر فيه جُسيمات من العدم، يُبيد بعضها بعضًا وتختفي، حتى لو استطعت إزالة كل ذرة وجُسيم في المكان قبل أنْ تُقلص نفسك؛ ستكتشف أنَّ أيَّ مكانٍ كنت تراه فارغًا هو في الحقيقة ليس فارغًا تمامًا!

ولكن كيف هذا؟! صرّحَ العالم كازيمير عام 1948م قائلًا إنه مَهما أفرغتَ مكانًا ما من كل شيء، سيبقى في هذا المكان جُسيمات «غير حقيقية»، ولكن ماذا نعني بجُسيمات غير حقيقية؟ إنَّ هذه الجُسيمات لا تكون جُسيمات عادية بل تُسمَّى **بجُسيمات افتراضية (Virtual Particles)**، ولكن ما هذه الجُسيمات الافتراضية وبماذا تختلف عن الجُسيمات الحقيقية التي تُكوِّن الذرات وتُكوِّن كل شيء في الكون؟

ما يقوله العالم كازيمير: إنّ هذه الجُسيمات الافتراضية تنشأ في الفراغ فجأةً، ثم تختفي بعدها عندما تدمّر بعضها بعضًا على الفور،

لا نستطيع نحن البشر ملاحظتها فيه، وتستمر هذه العملية دائمًا. فما يحدث في الفراغ هو شيءٌ غريبٌ، ففجأة يظهر جُسيم مادة طبيعية نعرفها، ومضاد هذا الجسيم من مكانٍ واحد ثم يصطدمان ببعضهما مرة أخرى، ويعود الفراغ فارغًا مرة أخرى.



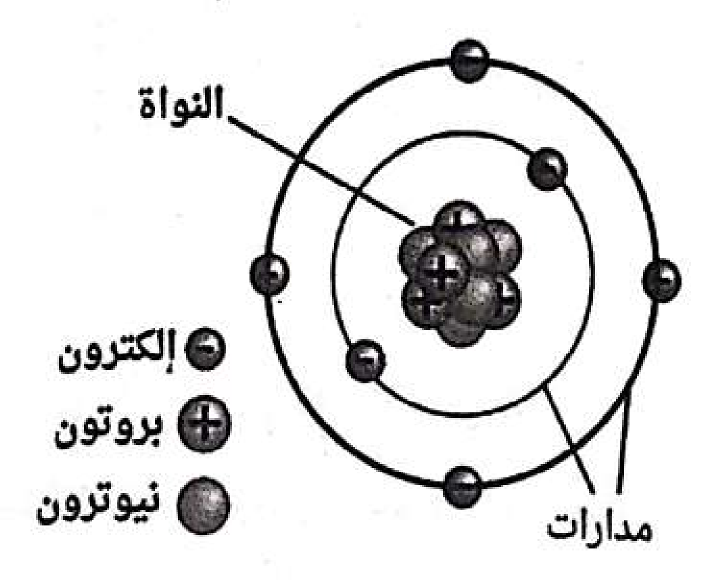
مثلًا: يظهر إلكترون من الفراغ مع بوزترون في الوقت نفسه، ثم يعودان ويصطدمان ببعضهما بعضًا مرة أخرى؛ إذ إنَّ الإلكترون هو جُسيم نعرفه في كوْننا الحقيقي، ومضاده هو جُسيم يُدعَى بوزترون، بحيث إنّ البوزترون هو الإلكترون نفسه دون أي فارق فهو يَملُك كتلته نفسها، ولكن يختلف عنه فقط في الشُّحنة، فهو شحنتَه موجبة، أما شحنة الإلكترون هي سالبة، وكما قُلنا يظهر جُسيم المادة ومضاده في اللحظة نفسها، ثم يصطدمان ببعضهما بعضًا فورًا بعد تكوُّنهما، ويُبيدان بعضهما بعضًا، هل تستطيع تخيُّل ذلك معي؟ جسيمان يخرجان من الفراغ ثم يصطدمان ببعضهما بعضًا، ويُبيدان بعضهما بعضًا فيعود الفراغ فارغًا كما كان وهكذا...

(الفكرة باستفاضة توجد في الفصل الثامن، إذ ستساعدنا هذه الفكرة العلمية على فَهم بعض الأمور الجديدة عن الثقوب السوداء لأنها تبتلع كل شيء حولها لذلك فإنَّ المنطقة القريبة منها فارغة، وتنشأ فيها هذه الجُسيمات الافتراضية وتختفي باستمرار.

الصدمة الثانية في ميكانيكا الكم

«الذرّة 99.9 ٪ تقريبًا منها فراغٌ»

نحن نعلم بأنَّ كل شيءٍ نراه في الكون له كتلةٌ يتكوّن من أشياء أصغر هي **الذرات** وتتكوّن الذرات من إلكترون تدور حول نواة موجبة تتكوّن من بروتونات ونيوترونات كما في الصورة:

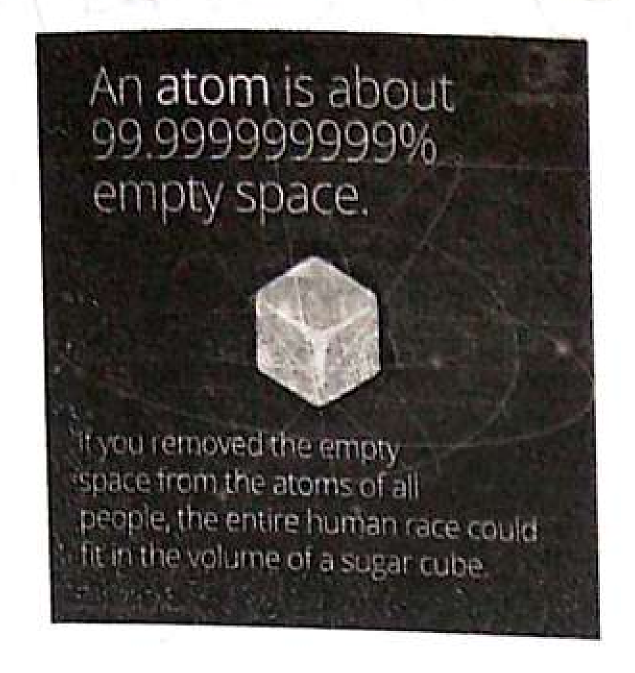


هذا هو النموذج المُبسّط والقديم للذرة والذي يُسمَّى بنموذج «بور».

(ولكن النموذج الحاليّ للذرة أعقد قليلًا).

وبما أنَّ العلماء يقولون: إنَّ تقريبًا 99.9 ٪ من الذرة فراغٌ، إذن فإنَّ 99.9 ٪ من كل شيءٍ في الكون هو فراغٌ والباقي مادة! هل هذا معقول؟! لا، والأكثر من هذا أنه وصل علماء العصر إلى أنْ يقولوا هذه المقولة بمناسبة هذه المعلومة:

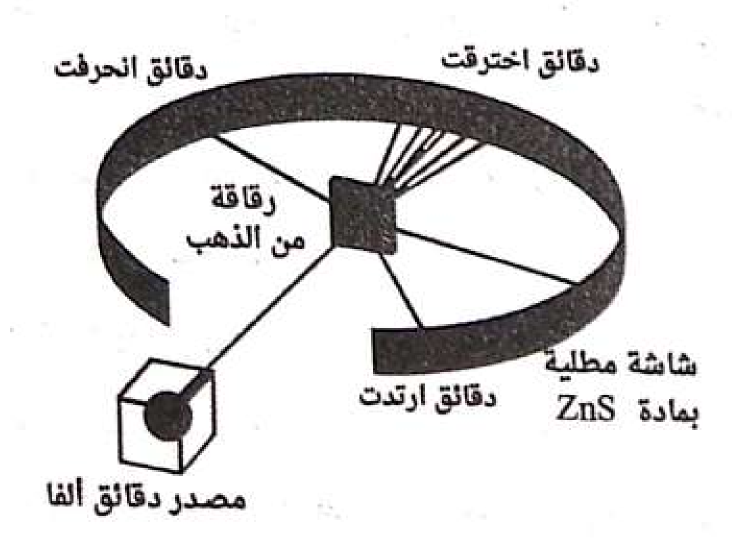
«كَوْن 99,999999999 ٪ تقريبًا من حجم الذرة فراغًا، لو فرضًا -رغمَ أنه فرضٌ مستحيلٌ- أننا استطعنا بطريقة أو بأخرى إزالة الفراغ من جميع ذرات البشر سنتمكن عندها أنْ نضع جميع البشرية في مكعب سُكّرٍ واحد!».



مصدر الصورة: website Institute of physics

ولكن ما الدليل العلميّ على ذلك في الفيزياء؟!

افترض عالِمٌ اسمه «راذرفورد» عام 1911م شيئًا جديدًا أطلقَ عليه اسم (النموذج النووي للذرة) إذ صمَّمَ جهازًا كما في الصورة بالأسفل، سنرى أنْ نتائج التجربة من خلال هذا الجهاز من الصعب تصديقها، ولكن هذه هي ميكانيكا الكم!



مصدر الصورة من موقع Institute of physics

يتكون الجهاز من:

1) مصدر معين يصدر جُسيمات تُدعَى جُسيمات ألفا (Alpha particle):

جُسيمات ألفا هي عبارة عن أنوية ذرات عنصر الهيليوم.

2) لوحة دائرية مطلية بطبقة من مادة كبريتيد الخارصين:

عندما تصطدم جُسيمات ألفا بهذه اللوحة تعطي هذه اللوحة وميضًا عند مكان الاصطدام، ومن خلال الومضات التي تظهر عليها والتي نراها بأعيننا نستطيع تحديد مكان الجُسيمات المصطدمة وعددها باللوحة المعدنية، يعني من خلال الومضات على هذه اللوحة المعدنية نستطيع أنْ نعرف أنَّ جُسيمات ألفا ارتطمت بها بسهولة، وليس هذا فقط بل مكانها وعددها.

3) صفيحة رقيقة مصنوعة من الذهب:

وضع العالِم صفيحة رقيقة من الذهب أمام الجهاز الذي يُصدِر جُسيمات ألفا لتعترض طريقها من أنْ تصطدم باللوحة الدائرية المطلية بمادة كبريتيد الخارصين، وكما نعلم كَوْن صفيحة الذهب تعترض جُسيمات ألفا إذن لن تصطدم باللوحة الدائرية، وسترتدّ عن صفيحة الذهب مثلما ترتد الكرات عند رميها على حائط، ولكن ما حدث هو شيءٌ صادمٌ جدًّا، بحيث إنَّ معظم جُسيمات ألفا نفذت دون أنْ تعاني أيَّ انحرافٍ، ونسبة قليلة جدًّا من جُسيمات ألفا لم تنفذ من صفيحة الذهب بحيث ارتدتْ عكس مسارها، ونسبة قليلة جدًّا من جُسيمات ألفا نفذت خلال صفيحة الذهب ثم انحرفت عن مسارها!

مما يعني، بدلًا من أنْ ترتد جُسيمات ألفا عن رقيقة الذهب مثلما ترتد الكرات عن حاجزٍ ترتطم به، ما حدث فعليًا هو أنَّ معظم جُسيمات ألفا نفذت وارتدَّ القليلُ جدًّا فقط!

هنا صُدمَ العالِم «راذرفورد» سنة 1911م وأعلن أنه استنتج النتائج التالية في نموذجه الذي ذكرنا اسمه بـ (**النموذج النووي للذرة**):

- كَوْن معظم جُسيمات ألفا نفذت عبر صفيحة الذهب وارتطمت باللوحة الدائرية، هنا استنتج «راذرفورد» بأنَّ **معظم الذرة عبارة عن فراغٍ.**
- كَوْن نسبة قليلة جدًّا من جُسيمات ألفا لم تنفذ، وانحرفَت مثلما تنحرف الكرات عن حاجزٍ، **إذن هناك كتلة صغيرة وكثيفة جدًّا داخل الذرة ذات كتلة موجبة تُسمَّى النواة وموجودة في مركز الذرة** (النواة موجبة الشحنة لأن جُسيمات ألفا عبارة عن أنوية الهيليوم كما ذكرنا إنَّ نواة الهيليوم هي موجبة الشحنة، وما حدث بينهم هو تنافر عند ارتداد جُسيمات ألفا وعدم نفاذها).
- تتركز كتلة الذرة في النواة (لأن كتلة الإلكترونات صغيرة جدًّا مقارنة بكتلة مكونات النواة من البروتونات والنيوترونات)؛ إذ إنَّ كتلة الذرة تساوي = مجموع كتلة النواة + كتلة الإلكترونات السالبة، وكَوْن كتلة الإلكترون صغيرة جدًّا جدًّا مقارنةً بكتلة البروتونات والنيوترونات التي تُكوِّن النواة، فإنَّ البروتون كتلته ليست -فقط- ضِعفًا أو ضِعفيْ كتلة الإلكترون، بل 1836 ضِعفًا؛ أي إنَّ كتلة البروتون تقريبًا أكبر بألفيْ ضِعفٍ من كتلة الإلكترون! إنَّ هذا هائل جدًّا!

وكَوْن كتلة الإلكترون صغيرة جدًّا بالنسبة إلى البروتون والنيوترون اللذين يشكلان النواة، اعتُبرتْ كُتَل الإلكترونات مُهمَلة بالنسبة إلى النواة وبذلك تصبح كتلة الذرة تساوي تقريبًا = كتلة النواة دون جمعها مع كتلة الإلكترون المُهمَلة.

- ومِن تجارب أخرى وضّحَ «راذرفورد» في نموذجه النووي للذرة بأنه يُوجد في الذرة نوعان من الشحنة (شحنة موجبة بالنواة وشحنات سالبة للإلكترونات) والذرة متعادلة كهربائيًّا لأن عدد الشحنات الموجبة (البروتونات) يساوي عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات).
- تدور الإلكترونات حول النواة في مدارات خاصة بحيث إنَّ الذرّة تشبه المجموعة الشمسية (نواة في المركز موجبة الشحنة ويدور حولها إلكترونات سالبة الشحنة)، ولكن صُحِّحَت هذه الفكرة بأسلوبٍ غير منطقيّ فسندرسُ ذلك لاحقًا.

«وهكذا نحن اتفقنا بأنَّ الذرة 99.999999999 ٪ تقريبًا منها فراغٌ، وتتكون من نواة تدور حولها إلكترونات، وأثبتنا الصدمة الأولى من صدمات ميكانيكا الكم، وهكذا اكتُشِفَ أنَّ للذرات نواةً وهي موجبة الشحنة للمرة الأولى على يد العالِم «راذرفورد» سنة 1911م في نموذجه النووي».

الصدمة الثالثة في ميكانيكا الكمّ

«علميًا نحن لا نلمس شيئًا»

إذا كنت تقرأ هذا الآن، فمِن المؤكد أنك تلمس شيئًا ما، سواءً كان كتابي هذا، أو هاتفك المحمول أو حاسوبك إنْ كنت تقرأ النسخة الإلكترونية منه، أو الكرسيّ أو المكتب أو سريرًا مخمليًّا لطيفًا بملاءات من القطن، بالحديث عن هذا السرير الفخم والمريح، أكره تحطيم أوهامك هذه وأقول لك إنك في الواقع لا تلمس شيئًا، وكل هذه ما هي إلا أوهامٌ! أعلم أنك ستُدهَش! وتقول لي إنَّ حاسة اللمس هي إحدى الحواس التي نملكها ودرسناها في المدارس وأنت تقول بأننا لا نلمس شيئًا!

إذن كوني أنا الآن واقفًا على الأرض وأنت تقول بأننا لا نلمس شيئًا، هل معنى هذا أنني فعليًّا أطير فوق الأرض حتى وإنْ شعرتُ بأنني ألمسها! وإنْ كنت جالسًا على الكرسي فأنا أطير فوقه؟! فإنَّ الفيزياء تُجيبُك بـ: نعم، أنت لا تلمس شيئًا، أنت تطير فوق الكرسيّ بقيمة متر أي 10 **نانومتر**، ولن تتخطّى هذا المقدار من المسافة عن أي شيء تعتقد بأنك تلمسه، لفَهم سبب عدم قدرتك على لمس أي شيء، عليك أنْ تفهم كيف تعمل الإلكترونات، وقبل أنْ تفهم ذلك، نحتاج إلى أنْ نقوم بمراجعة المعلومات الأساسية حول بنية الذرات.

سأشرحُ الموضوع بأسلوبٍ مُبسّط وعلميّ، وكما ذكرنا في الصدمة الثانية قَوْل العالِم «رادزفورد»؛ بأنَّ معظم كتلة الذرة في نواتها لأن كتلة الإلكترون تُعتَبر مُهمَلة لدرجة أنَّ 99.9 ٪ تقريبًا من كتلة الذرة موجودٌ في نواتها، وأيضًا 99.9 ٪ تقريبًا من الذرة فراغٌ.

إذ شبَّه العالِم «ستيفن هوكينغ» في كتابه «تاريخ موجز للزمان» بقوله: «النواة في الذرة مثل كرة البيسبول الصغيرة الموجودة في ملعب

كبير جدًّا، حيث تُعتَبر كرة البيسبول النواة وتمتلك معظم كتلة الذرة (99.9 ٪ منها)، وما تبقّى من الملعب هو فراغٌ (وهو الفراغ الموجود في الذرة 99.9 ٪ من الذرة)، وهناك كرات صغيرة جدًّا جدًّا مقارنة بكرة البيسبول تدور حول الملعب على حافاته تُسمَّى إلكترونات.

ولكن هذه ليست الصدمة! لقد صُدمتُم بهذه المعلومات مسبقًا، ولكن ما أريد أنْ أُقدمه لك، هو بحث علميّ حديث بعنوان: «نحن لا نلمس شيئًا»، في إحدى صفحات هذا البحث توجد هذه الفقرة «نحن في الحقيقة لا نلمس شيئًا حقًّا، في الحياة اليومية في عالَمنا على نطاق الذرات في الأشياء المادية لا تُلمَس حقًّا، لأنَّ كل ذرة لها نواة صغيرة في وسطها مُحاطة بسحابة من الإلكترونات من خطوط القوة، وعندما تقترب الذرات من بعضها تدفع السُّحبُ الإلكترونيةُ السُّحبَ الإلكترونيةَ الأخرى لأي شيء آخر تلمسه بعيدًا، ونشعرُ عندها بحاسة اللمس».

إنَّ الفكرة كالتالي:

نحن لا نلمس شيئًا حقًّا، لأننا نتكون من ذرات، وذراتنا 99.9 ٪ منها فراغٌ، وأيضًا 99.9 ٪ من كتلتها في نواتها، وأيضًا تَبعُد الإلكترونات الخفيفة عن النواة مسافة كبيرة، كما الملعب الذي يحتوي كرة بيسبول في منتصفه، لذا فهي تُعتَبر النواة وعلى حافات الملعب توجد إلكترونات خفيفة جدًّا، الآن بعد أن فَهمنا ذراتَنا فَهمًا واضحًا، عندما تلمس شيئًا فإنَّ المجالات الكهرومغناطيسية للإلكترونات تتنافر مع المجالات الكهرومغناطيسية للشيء الذي أمسكته، نحن نحس بالتلامس فقط بسبب تنافر المجالات الكهرومغناطيسية لإلكتروناتنا أمّا النواة لذراتنا لا تتلامس، وكما ذكرنا أنَّ معظم كتلة الذرة موجودٌ في مركز الذرة، وهي النواة، إذن فعليًّا أنت من المستحيل أنْ تكون قد تلامست مع أي شيء في هذا العالم.

فهذا السبب يمنع الإلكترونات من الاتصال المباشر (بالمعنى الذريّ والمعنى الحرفيّ)، ومن ناحيةٍ أخرى يُمكن أنْ تتداخل حزم الموجات «Wave Packets» الخاصة بهم لكن لا تتلامس الإلكترونات ببعضها بعضًا أبدًا.

لكن ما السبب بأننا نشعر بحاسة اللمس لو كُنّا –بالفعل- لا نلمس شيئًا حقًّا كما قلتُ؟ السبب في الشعور في التلامس هو في كيفية تفسير أدمغتنا للعالم الماديّ، في هذه الحالة ترسل الخلايا العصبية التي تتكون منها أجسامنا إشارات إلى دماغنا تخبرنا أننا نلمس شيئًا ما جسديًّا، عندها يتمّ إحساسُنا باللمس من خلال تفاعل إلكتروناتنا مع -أيْ تنافرهم- المجال الكهرومغناطيسيّ للإلكترونات الأخرى، أيضًا هناك أسباب أخرى مختلفة تلعب دورًا في تحويل المواد الموجودة في حياتنا إلى أشياء ملموسة؛ إذ إنه لدينا ما يُدعَى بالترابط الكيميائيّ بحيث تسمح الروابط الكيميائية للإلكترونات بـ «الالتصاق» بسطح الجسم، مما يؤدي إلى حدوث احتكاك.

لكنّ التنافر الكهروستاتيكيّ البحت بين الإلكترونات، والذي نتحدث عنه من بداية هذه الصدمة ليس السبب الوحيد في أننا لا نلمس شيئًا، بل هناك مبدأ أدق وأدق يُدعَى بمبدأ **الاستبعاد لباولي** (**Pauli Exclusion Principle**) الذي يجعل من المستحيل أنْ نلامس أي شيء علميًّا، حيث إنّ الإلكترونات من المستحيل أنْ تملك «المستوى نفسه State» أو «الدوران نفسه Spin» لذلك يحدث تنافر بينهم (إنْ وجدتَ صعوبة في استيعاب الفكرة، يُمكنُك دراستُها من المراجع المُرفَقة).

الصدمة الرابعة في ميكانيكا الكم

ظهور الإلكترونات في كل مكان في الوقت نفسه

هل يُمكنك الوجود في مكانين في آنٍ واحد؟ غالبًا إجابتك ستكون بـ (لا)، إلا إذا كنت على دراية بفنون السحر ربما، ولكن الغلبة أنَّ نظرية الكم تتفوق حتى على السحر، فالإجابة طبقًا لنظرية الكم (نعم)، يُمكنك الوجود في مكانين في الوقت نفسه! هذه الكارثة الكبرى التي يطرحها العالم نيلزبور في نموذجه، كما يقول: إنَّ الإلكترونات ليست موجودة في مدارات حول النواة وتدور كما تدور الكواكب حول الشمس، بل الموضوع أعقد من هذا! إذ إنَّ الإلكترونات تدور حول نواة الذرة على شكل غيمة (Cloud) تُسمَّى بـ (Wave Packet) والإلكترون الواحد ليس موجودًا في نقطة واحدة داخل هذه الغيمة بل الإلكترون موجود في أكثر من مكان داخل هذه الغيمة في اللحظة نفسها إلى أنَّ ترصده، وعندما ترصده فأنت تجبره على أنَّ يتخذ مكانًا واحدًا يوجد فيه، وألّا يوجد في أكثر من مكان في الوقت نفسه داخل هذه الغيمة!

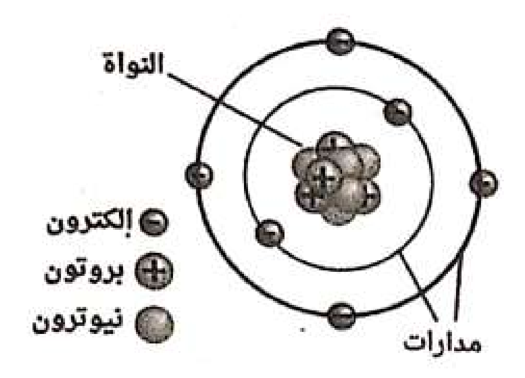
لكن ما دمت لم ترصده سيبقى موجودًا بكل هذه الغيمة في الوقت نفسه، يعني لا يوجد له موقع مُحدد بل سيتسخ نفسه في أكثر من مكان في الوقت نفسه داخل الغيمة، وإذا أردنا تمثيل تلك المعضلة بشيءٍ مُشابه في عالمنا الواقعي الكبير، اقرأ معي هذا المثال:

تخيّل أنَّ هناك مروحة سقف ولكن بريشة واحدة بدلًا من ثلاث أو أربع ريشات – فأنت ترى الريشة بكل وضوح في حال أنَّ المروحة مُطفأة لا تعمل ولا تتحرك، لكن ما إنْ تعمل وتتحرك المروحة وتدور بسرعة كبيرة فأنت (بقدرات عينيك المجردة) لا تستطيع تحديد مكان الريشة بدقة! بل تبدو لك وكأنها تدور في كل محيط المروحة في الوقت

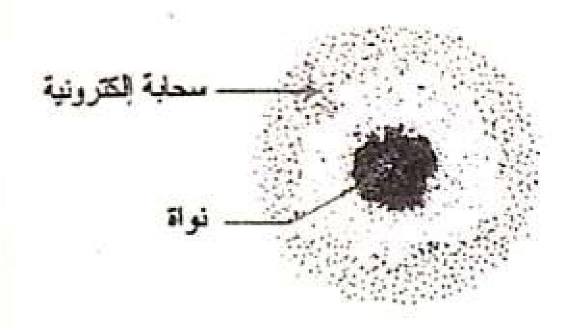
نفسه وتملأه كله! لكن الفرق في ميكانيكا الكمّ هو ليست فكرة سرعة الإلكترونات حول النواة فقط، بل فعليًّا أنها تُوجَد بجميع الاحتمالات في كل مكان في الغيمة حول النواة.

ففي ميكانيكا الكمّ الموضوع أعقد بكثيرٍ؛ إذ إنَّ الإلكترون فعليًّا ينسخ نفسه في كلّ مكانٍ في الغيمة حول النواة إلى أنْ نرصده بواسطة جهاز رصد، فإنه يتوقف عن ذلك ويوجد في مكان معين فقط.

وهنا خرج لدينا مبدأ عدم اليقين (**Uncertainty Principle**) الذي يخالف تمامًا مبدأ **اليقينية في الفيزياء** (**Certainty Principle**) الذي يميّز الفيزياء الكلاسيكية في جميع معادلاتها قبل دخول جنون ميكانيكا الكمّ إليها!



النموذج القديم للذرة



النموذج الكمومي للذرة

الصدمة الخامسة في ميكانيكا الكم

«طبيعة الضوء»

هل الضوء الذي يخرج من المصباح هو عبارة عن موجةٍ أم جُسيمٍ؟ ربما ستُجيبُني بثقة: «بالطبع موجة»، فلم تُصدَف مرة أنْ صدمني الضوء عندما أفتح المصباح كالكرات التي تُرمَى عليَّ. لكن هنا تُعتَبر إجابتك خاطئة بحسب نظرية ميكانيكا الكم! فهل هذا يعني أنَّ الضوء

هو عبارة عن جُسيمات؟ الإجابة خاطئة أيضًا؛ ففي علم الفيزياء، هناك مَن يجزم بأنه موجات، وآخرون مستعدون أنْ يَقسموا بأنه يتصرف سلوك الجُسيمات، فكل فريقٍ له مؤيدون ودلائل وبراهين تساند وتعاضد رأيه.

لكن هل هذا معقول؟! هو -بالفعل- شيءٌ صعب التصديق، كما يقول العالِم «لوليام براج» الحاصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1915م الجملة التالية: «يتصرف الضوء أيام الاثنين والأربعاء والجمعة كأنه مادة، بينما يتصرف أيام الثلاثاء والخميس والسبت كأنه موجة»، مُمازحًا بسبب حالة التخبُّط التي كانت بين العلماء بسبب عدم معرفة طبيعة الضوء: هل هو جُسيمٌ أم موجةٌ؟

أول مَن بحثَ في ماهية الضوء كان العالِم «نيوتن» عندما قال: إنَّ الضوء عبارة عن سيلٍ من **الجُسيمات** (كان يؤمن بأنه يتصرف كالجُسيماتِ)، وبناءً على هذا التفسير، استطاعَ نيوتن أنْ يُفسّر كل الظواهر الضوئية المعروفة وقتها، فمثلًا الضوء ينعكس عند اصطدامه بأسطح عاكسة (انعكاس الضوء) وهذا يشبه عندما ترتدّ كرة مطاطية مرنة عند ارتطامها بحائط، أما بالنسبة إلى ظاهرة (انكسار الضوء) فقد فسرها نيوتن بطريقة معيّنة باستخدام فكرة أنَّ الضوء يتصرف كالجسيمات وفي حالة المرور بين الماء والهواء تكون سرعة الضوء في الماء أكثر من سرعته في الهواء، ولهذا يعاني الضوء الانكسارَ عند مروره من الهواء للماء.

وكان العالِم «هيجنز» معاصرًا لـ «نيوتن»، ولكن كان له رأيٌ مخالف حول طبيعة الضوء، فالضوء كان بالنسبة إليه كما الصوت عبارة عن **موجة**، لذلك فهو ينعكس كما تنعكس موجات الصوت، وظاهرة صدى الصوت هي أكبر دليل على ذلك، والضوء ينكسر كما تنكسر الموجات،

لأنه في حالة المرور بين الماء والهواء تكون سرعة الضوء في الماء أقل من سرعته في الهواء (عكس كلام نيوتن)؛ ولهذا يحدث الانكسار.

إذن، فإنّ المعيار الحاسم بين الرأيَيْن لـ «نيوتن وهيجنز» هو سرعة الضوء في الماء، هل هو أقل من سرعته في الهواء؟ وفي هذه الحالة يكون الضوء عبارة عن موجة كما قال «هيجنز» أو العكس فيكون الضوء عبارة عن جُسيمات كما قال نيوتن!

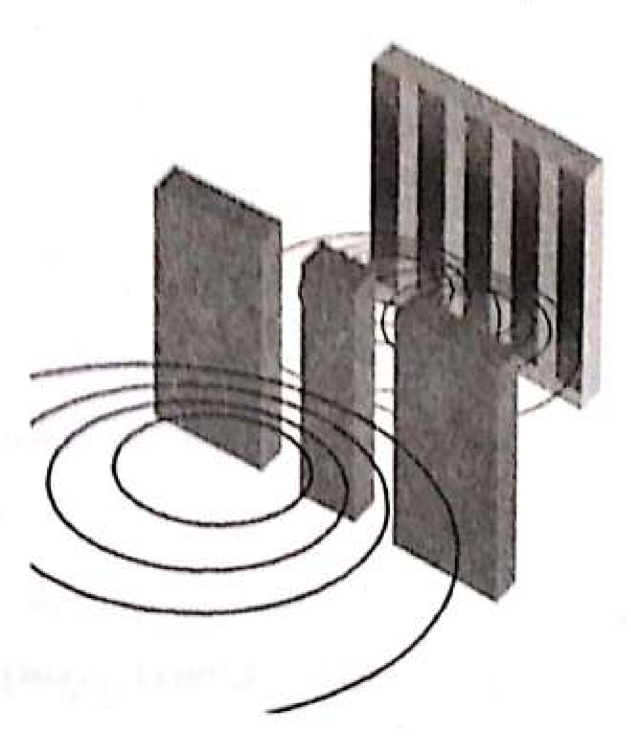
أترغبون في معرفة مَن الفائز! لم تكُن في زمن «نيوتن» تقنيات تسمح بقياس سرعة الضوء في الماء، لذلك صدّق الفيزيائيون ما قاله «نيوتن» بسبب إنجازاته العظيمة في الفيزياء في ذلك الزمن.

إلى أنْ وصلنا إلى بداية القرن التاسع عشر عندما ظهر الطبيب والفيزيائي وعالِم البصريات «توماس يونج» الذي قال: إنَّ «هيجنز» على حق، وإنَّ «نيوتن» هو المُخطِئ واستدلّ على هذا **بظاهرة التداخل** (Interference) التي لا تفسير لها إلا بكون الضوء عبارة عن موجة، فما ظاهرة التداخل؟

إنَّ الموجات بوجهٍ عام، موجات الماء -مثلًا- حسب ما هو معروف تتكون من قممٍ وقيعان، فإذا تقابلتْ موجتان بحيث تطابقت القمم مع القمم، والقيعانَ مع القيعان حصلنا على موجة أكبر ذات قمم أعلى وقيعان أعمق، وهذا ما يُسمَّى بالتداخل البنّاء، أما إذا تقابلتْ الموجتان بحيث تقابلت قمة الموجة الأولى مع قاع الموجة الثانية والعكس بالعكس لتلغي الموجتان بعضهما بعضًا، وهذا ما يُسمَّى بالتداخل الهدّام.

وبتجربة «يونج»، سنتمكن أنْ نرى التداخلات البنّاءة والهدّامة للضوء إنْ كان عبارة عن موجات، ففي هذه التجربة، لو قمنا بتوجيه الضوء من مصباحٍ ليمرَّ عبر شقّيْن، فإنه ستتكون موجتا ضوءٍ جديدتان ناتجتان عن

كل شقٍّ على حدة، ثم ستتداخل بعدها كلتا الموجتين، ويصبح ما يُسمَّى بتداخلات هدّامة وتداخلات بنّاءة؛ إذ ستكون هناك مناطق لا تلتقي فيها الموجات (مناطق التداخلات الهدّامة) ومناطق تلتقي فيها الموجات عند الحائط (مناطق التداخلات البنّاءة)، لتكون النتيجة عدة خطوط مضيئة ومعتمة على الحائط ناتجة عن التداخلات البنّاءة والهدّامة (كما يحصل لموجات الماء)، كما في الصورة:

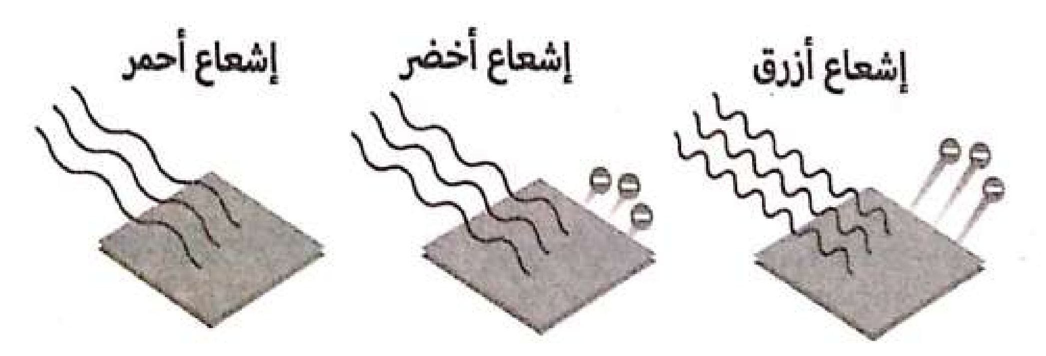


تسليط ضوء على لوح فيه شقيْن وتتحول إلى موجتيْ ضوء، ثم تداخل الموجتان (تداخلات بنّاءة وهدّامة).

لكن قُوبل اكتشاف «يونج» باستخفاف واستمرَّ هذا الوضع لمدة 25 سنةً أخرى، إلى أنْ جاء الفرنسي «فرسنل» واستطاع قياس سرعة الضوء في الماء، وأنه أقل من سرعة الضوء في الهواء، ولذلك فإنَّ الضوء عبارة عن موجات، وأخيرًا ظهر الحقّ وسقطت نظرية «نيوتن».

وكان العلماء سعداء بالنتيجة فقد استطاعوا تفسير العديد من الظواهر الضوئية تفسيرًا صحيحًا مثل انكسار وانعكاس الضوء وغيرها.

إلى أنْ جاءنا «آينشتاين» أخيرًا بأفكارٍ جديدة كانت مفاجأة للجميع؛ وهي أنه عند سقوط أشعة ذات لونٍ أزرق على أسطح معدنية غير مؤكسدة، فإنَّ عدة إلكترونات تنبعث وتتحرر من هذه الأسطح، بينما إذا سلّطنا ضوءًا أخضر عليها فإنَّ عددًا أقل من الإلكترونات تنبعث وتتحرر من هذه الأسطح، وعندما نسلط ضوءًا أحمر عليها فإنه لا تنبعث أي إلكترونات، هذا مَهما زدنا من تركيز وشدة الضوء الأحمر، وهنا جاءت الصدمة العلميّة! عندها جاءنا «آينشتاين» وفسّر ذلك بأنَّ الضوء يتكون من **جُسيمات مادية دقيقة سُمِّيت بالفوتونات**؛ إذ إنَّ فوتونات الضوء الأزرق تمتلك طاقة أعلى من فوتونات الضوء الأخضر، وفوتونات الضوء الأحمر، حيث إنَّ الترتيب للطاقة من الأعلى للأقل هو (فوتونات الضوء الأزرق، فوتونات الضوء الأخضر، فوتونات الضوء الأحمر)، ولذلك تستطيع فوتونات الضوء الأزرق تحرير إلكترونات بقدرة أكثر بينما فوتونات الضوء الأخضر تحرر إلكترونات بطاقة أقل، وأما فوتونات الضوء الأحمر فليس لديها الطاقة الكافية للقيام بذلك! وسُمِّيَ هذا **بالتأثير الكهروضوئي (Photoelectric Effect)**.



هل هذا معقول؟! ألم نقُل قبل قليل إنَّ نيوتن خاطِئ بقَوْله إنَّ الضوء يتصرّف كالجُسيمات! والآن يأتي «آينشتاين» ويثبت لنا بالتأثير الكهروضوئي بأنه يتصرّف كالجُسيمات! وليس هذا فقط، فقد حصل «آينشتاين» على جائزة نوبل على هذا الاكتشاف ولم يحصل عليها

بسبب نظرية النسبيّة، إذ لم يكُن أحدٌ يُصدّق هذه النظرية وقتها، وكان «آينشتاين» يتعجب من هذا ويقول: كيف أنه حصل على جائزة نوبل من أجل شيءٍ تافه بالنسبة إليه، بينما النظرية النسبيّة العظيمة التي استغرقت منه مجهودًا كبيرًا لم يحصل بسببها على جائزة نوبل! وأيضًا هنالك ما يدعى **بتأثير كومبتون (Compton Effect)** في الفيزياء يثبت أنَّ الضوء يتصرّف خلال تجربة أخرى كالجسيمات.

إذن هناك تجارب مؤكدة تقول بأنَّ الضوء هو موجة، وهناك تجارب مؤكّدة تقول بأنَّ الضوء يتصرّف كالجُسيمات، لذلك خرجَ لنا مفهوم جديد في الفيزياء وهو **ازدواجية الموجة-الجسيم Wave-Particle Duality)**، مما يعني أنَّ الضوء هو يتصرّف كالموجة والجُسيم حسب التجربة التي تُخضعه لها، هل من الممكن أنْ يكون هذا منطقيًّا؟ إنه -بالفعل- جنون! حتى الآن لم يجد العلماء حلًّا لهذه المشكلة، هل الضوء موجة أم جُسيم؟! لا أحدَ يعلمُ.

وهذه من أكبر مشكلات العلماء إلى الآن فكما قال العالم الشهير هايزنبيرغ أحد مؤسسي نظرية ميكانيكا الكم: «كل من المادة والإشعاعات لهما ازدواجية ملحوظة في السمات، فأحيانًا تكون لهما خصائص الموجات، وفي أحيان أخرى خصائص الجسيمات. من الواضح الآن أنَّ أي شيء لا يمكنه أن يكون موجة وجسيم في الوقت نفسه - المفهومان مختلفان للغاية».

الصدمة السادسة في ميكانيكا الكمّ

«سلوك الإلكترونات يعتمد على الراصد»

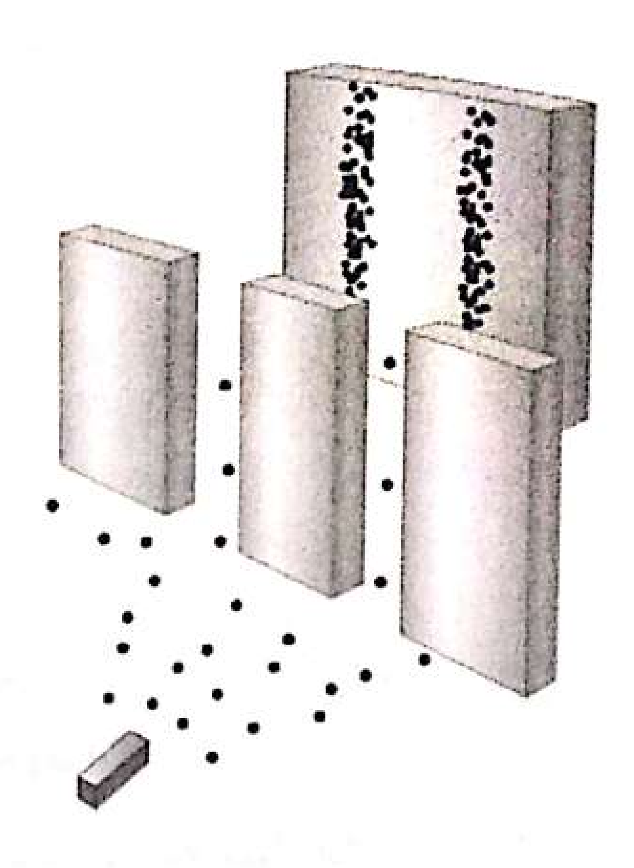
سنقوم بتجربة حيّرتنا وصدمتنا منذ أكثر من مائة سنةٍ حتى الآن، وتُسمَّى بـ «**تجربة الشقّ المزدوج ليونج (Young Double Slit)**»[1]. هذه التجربة أبهرت أكبر علماء الفيزياء وأبرزهم العالِم ريتشارد فاينمان الحاصل على جائزة نوبل في الفيزياء لسنة 1965، وهو من العلماء الذين أرسوا القواعد الأساسية لعلم ميكانيكا الكم.. قائلًا من شدّة انبهاره بالتجربة في الصفحة الأولى من مرجعه الخاص بمحاضراته والمخصص لميكانيكا الكم التالي: «إنَّ العنصر الأساسي في نظرية الكم هو **تجربة الشق المزدوج**، لماذا؟ لأن هذه الظاهرة مستحيلة، مستحيلة بشكل مطلق لتفسيرها بطريقة كلاسيكية، وبها لبّ ميكانيكا الكم، وفي الواقع فإنها تتضمن الشيء الوحيد الغامض والغرائب الرئيسية في ميكانيكا الكم»، وهكذا كان يراها عالِمنا المبدع بأنها لبّ نظرية ميكانيكا الكم وأنها صعبة التصديق أيضًا، لكن ما هذه التجربة الغريبة التي تُبهِر الكثير من علماء الفيزياء إلى وقتنا هذا؟! سأشرحها بطريقة مُبسّطة.

التجربة كالتالي:

تخيَّلْ بأنَّ هناك لوحًا بداخله شقّان -كما في الصورة- وأننا أحضرنا قاذفَ كراتٍ صغيرة وقذفنا الكرات إلى هذا اللوح قذفًا عشوائيًا، مِن البَدَهيّ جدًّا أنَّ جزءًا من هذه الكرات سيعبُر من الشقّيْن، وجزءًا منها سيرتدّ عن اللوح بحيث لو كان هناك جدارٌ تتجمع عليه الكرات الصغيرة

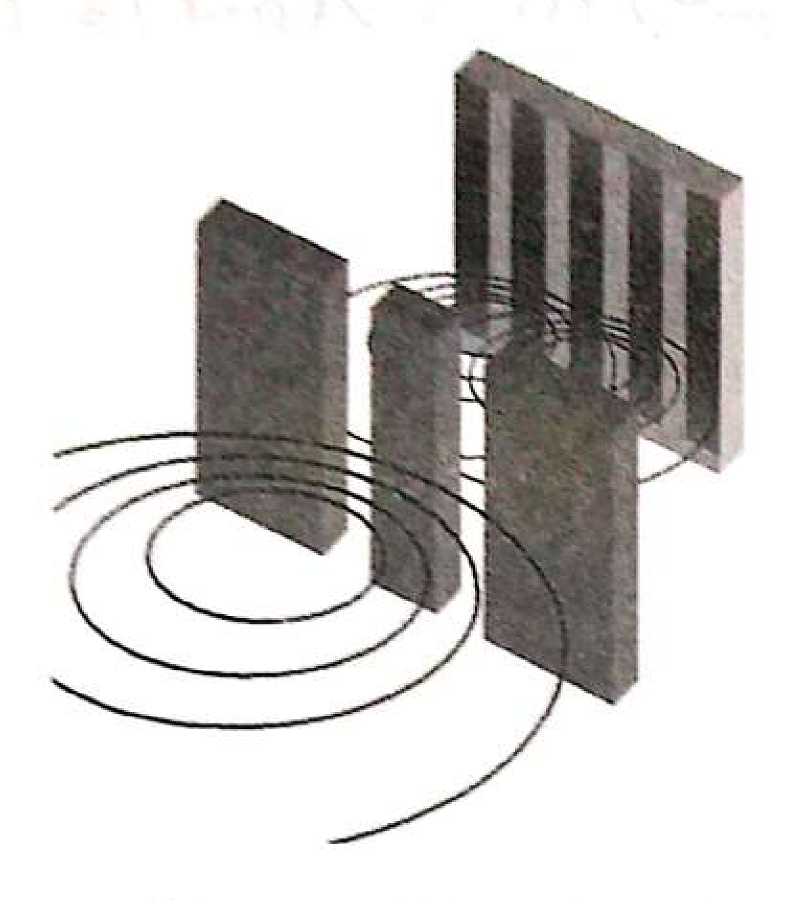
(1) هناك فيديو علميّ على اليوتيوب معروف ومُسمًّى بـ (Dr. Quantum) يشرح الموضوع بأسلوب مُبسَّط يُمكنكم مشاهدته لتبسيط هذه الفكرة العجيبة.

التي قذفناها، فمِن البَدَهيّ أنْ نرى الشكلَ للكرات كما في **الصورة** تلتصق على اللوح على شكل خطيْن على طول الشقيْن الذي عبَرَتْ من خلالهما الكرات (وهذا منطقيّ جدًّا).



قَذْفُ كراتٍ من قاذفِ كراتٍ عبرَ الشقيْن والتصاقهم على الشاشة على شكل خطّيْ الشقين.

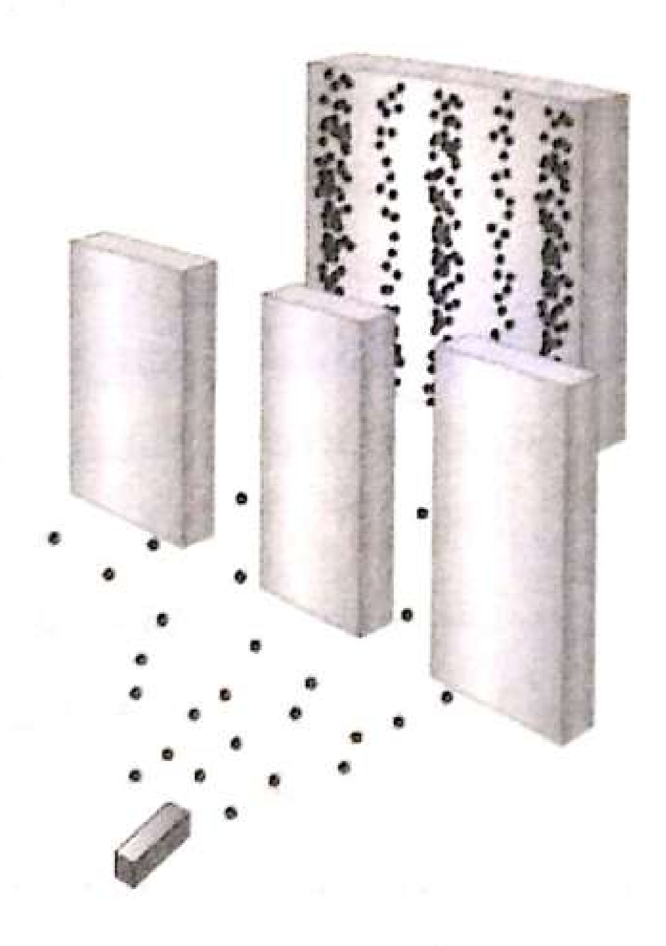
في الخطوة الثانية من التجربة، لو وجّهنا موجة من الماء نحو اللوح الذي يحتوي شقيْن، بحيث توجّهتْ موجة الماء نحوَ هذا اللوح الحديديّ فإنه ستتكون موجتا ماءٍ جديدتان ناتجتان عن كل شق على حدة، ثم تتداخل بعدها كلتا الموجتيْن، ويصبح ما يُسمَّى بتداخلات هدّامة وتداخلات بنّاءة؛ إذ تكون هناك مناطق لا تلتقي فيها الموجات (مناطق التداخلات الهدّامة) ومناطق تلتقي فيها الموجات عند الحائط (مناطق التداخلات البناءة)، لتكون النتيجة عدة خطوطٍ على الحائط ناتجة عن التداخلات البناءة، كما في الصورة.



موجة ماء تعبُر الشقيْن وتتحول إلى موجتيْ ماءٍ ثم تتداخل الموجتان (تداخلات بنّاءة وهدّامة).

الآن، ليس هدفُنا دراسة سلوك الكرات الصغيرة أو موجات الماء، بل فعليًا نحن نريد أنْ ندرس سلوك **الإلكترونات** لنعرف هل هي جُسيمات أم موجات! وإذا فكرتَ قليلًا لقُلتَ في نفسك إنه من الطبيعيّ أنَّ الإلكترونات تتكون من جُسيمات وليست موجات، فنحن نتكون من ذرات تحتوي جُسيمات صغيرة من ضمنها إلكترونات، ومن المستحيل أنْ تكون الإلكترونات عبارة عن موجات، لأنَّ ذلك سيعني بأننا نتكون من موجات! وهذا مستحيل، وأيضًا كل شيءٍ في الكون يتكون من ذرات، لذا فإنَّ مكونات الذرات هي تتكون من جُسيمات وليست موجات، وهذا ما كان يؤمِن به علماؤنا حقًا، لكنّ تجربة «يونج» ستُظهِر لنا شيئًا عجيبًا لن تصدقه ولم يستطع تفسيره العلماء إلى الآن!

إذ استخدم العلماء اللوح الذي يتكون من شقيْن وقذفوا الإلكترونات هذه المرة باستخدام قاذف الإلكترونات نحو هذين الشقيْن، وما رآه العلماء هو -بالفعل- لعنة ومصيبة ميكانيكا الكم! وجدَ العلماء بأنَّ الإلكترونات تتصرف تصرّفَ الموجة! إذ تكوّنت عدة خطوطٍ على الحائط ناتجة عن التداخل الهدّام والبنّاء بين موجات الإلكترونات!



قَذْفُ إلكتروناتٍ نحو الشقّيْن وسلوكهم سلوكَ الموجات.

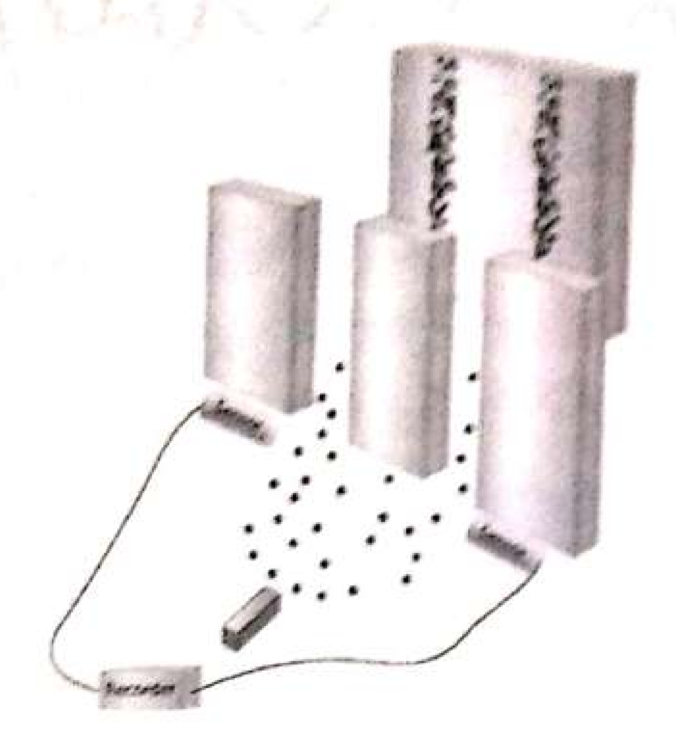
جُنَّ جنون العلماء وقالوا لن نرضى بهذا أبدًا! لذلك قذفوا إلكترونًا إلكترونًا على التوالي على الشقيْن حتى لا يتداخلوا، بحيث يتم إبطاء إطلاق الإلكترونات للدرجة التي يمُر فيها إلكترون واحد فقط كل لحظة خلال منظومة الشقين، والمتوقع طبعًا أنه كونه سيمُر إلكترون واحد خلال ثقب واحد ويصل إلى الحائط ثم الآخر وهكذا، سيظهر لنا شكل خطيْن فقط على الحائط كالجسيمات، لكن الغريب في الموضوع بأنَّ

النتيجة كانت مختلفة تمامًا، وأنه قد ظهرت الإلكترونات على الجدار كأنها تصرفت تصرُّف الموجات كما التجربة السابقة!

فعلًا كما قال بروفيسور الفيزياء جون جريبين في كتابه البحث عن قطة شرودنجر عندما شرح عن هذه التجربة ووصوله إلى هذه النقطة في التجربة بقوله: «هنا بدأ الغموض المحوري في ميكانيكا الكم».

عندها حلَّ الرّعب بين العلماء وسألوا أنفسهم هذا السؤال في محاولة تفسير ما حدث! هل عندما تُقذَف الإلكترونات على الشقيْن فإنَّ الإلكترون الواحد يعبُر كِلا الشقيْن في الوقت نفسه أيضًا، ويتداخل بعدها مع نفسه (موجتان متداخلتان) لتتكون خطوط تداخل بنّاءة وهدّامة؟ للإجابة على هذا السؤال قرر العلماء أنْ يتذاكوا على الإلكترونات والقيام بوَضْعِ جهاز رصدٍ عند كِلا الشقيْن ليتمكّنوا من رؤية الإلكترون بوضوح عندما يمُر الإلكترون من كلا الشقيْن، -وبالفعل- وضعوا جهازَ الرصد وهنا كانت الفاجعة إذ إنَّ الإلكترونات تصرّفت سلوكَ الجُسيمات وظهرت على الجدار على شكل خطيْن على طول الشقيْن كما تتصرف الجسيمات.

وهنا فسّرها العلماء بأننا عندما لا ننظر إلى الإلكترون، فإنه يتحرك بكل الاحتمالات، وعندما نحاول النظر إلى موجة الإلكترون المنتشرة نجدها تنهار إلى جسيمة محدّدة، بحيث أصبح الإلكترون مضطرًا -عندما حاولنا قياسه- إلى أن يختار مسارًا واحدًا من احتمالات عديدة، فعندما لم ننظر إليه كان هنالك احتمالٌ معين أن ينفذ من أحد الثقبيْن، وهنالك احتمال مكافئ أن يتجه إلى الثقب الآخر، وينتج هنا احتمال التداخل لتظهر لنا (خطوط تداخل بناءة وهدامة) - أما عندما نرصد الإلكترون يختار فقط أحد الثقبين للمرور عبرهما.



قذفُ الإلكترونات عبرَ الشقيْن ومراقبتهم عبرَ أجهزة رصدٍ وسلوكهم سلوكَ الجُسيمات.

هل هذا معقول؟! هل الإلكترون يسخر منّا؟! يعني عندما نراه ونرصده يتصرف كالجسيم ويمرّ من الشقيْن على شكل خطيْن، وعندما لا نراه أو نرصده يتصرف كموجة ويمرّ من الشقيْن بحيث يتداخل مع نفسه!

ما زال العلماء لا يعرفون تفسير هذه التجربة، وهناك جائزة نوبل مخصصة لمَن يحلّ لغز هذه التجربة، ومَن يعلم، لعلَّكَ تحلُّها وتُبهِرنا.

الصدمة السابعة في ميكانيكا الكمّ

«قطة شرودنجر حية وميتة في الوقت نفسه»

السؤال الأكثر غرابة ودراماتكية: هل يمكنك أنْ تكون حيًّا وميتًا في الوقت نفسه؟ بالتأكيد لا يرغب أحدُنا أنْ يكون ميتًا في مكانٍ ما حتى لو احتفظَ بحياته هُنا، ولكن مع نظرية الكمّ ووفقًا **لمبدأ عدم اليقين**، الإجابة هي نعم، هذه الفرضية ممكنة.

فرضيّة «شرودنجر» أكثر الفرضيات غرابة وجدلًا في العالم بتجربته الشهيرة (قطة شرودنجر)، مَن منّا لم يسمع عن «قطة شرودنجر» المشهورة التي جعلتْ وَعْينا البشريّ في مأزق يحتاج إلى الإجابة. «قطة شرودنجر، ما هي؟» ولِمَ هي قطة مميزة؟ في البداية أريد أنْ أخبركم بأنَّ «شرودنجر» هو مِن أبرز علماء ميكانيكا الكمّ، ومِن أبرز العلماء الذين اعتذروا لأنهم شاركوا في هذه النظرية! ففي إحدى مقولاته يعتذر العالم بقوله: «لو كان على المرء أنْ يلتزم بهذا القفز الكموميّ الملعون فإنّني آسفٌ لمُشاركتي في هذه النظرية!».

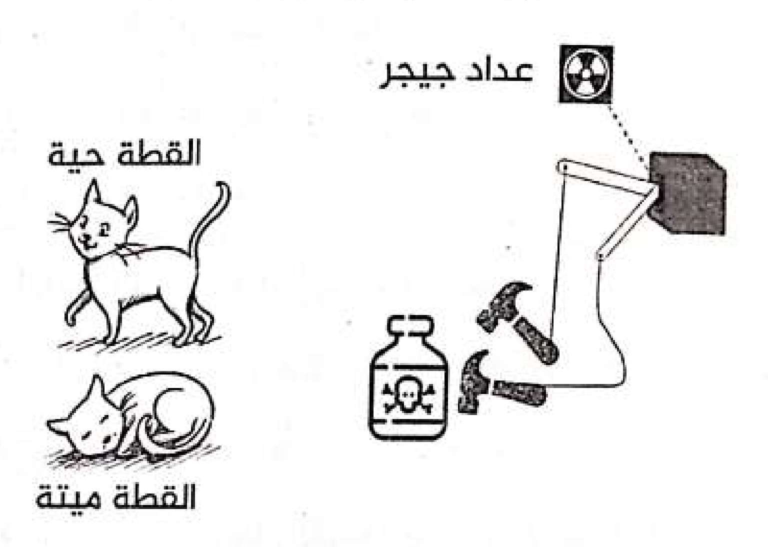
لنبدأ الآن بقصة العالِم «شرودنجر» مع ميكانيكا الكم، التي بدأت تشتهر في البداية بقطة **شرودنجر** ما أريد قَوْله إنَّ قطة شرودنجر ما هي إلا رمزٌ لتجربة ذهنية تخيُّليّة قدَّمها العالِم «شرودنجر» الذي حاز على جائزة نوبل في الفيزياء لسنة 1933م، وتهدف هذه التجربة لإيضاح تأثير الوعي البشريّ في عملية الرصد، بحيث إنَّ الهدف الأساسيّ منها هو أنْ يُخبر بعدم صحة ميكانيكا الكم، وهذا ما يتمناه «آينشتاين» لذلك اشتهرت التجربة لأن «آينشتاين» كان من أكبر المؤيدين لها، لأنه لا يؤمن أيضًا بميكانيكا الكم ولكن المُضحك المُبكي هو أنَّ العالِم «شرودنجر» بعدها أصبح من أكبر مؤيدي نظرية الكم وأكبر المنظرين فيها، ومع الوقت أصبحت كل ميكانيكا الكم قائمة الآن على معادلات «شرودنجر».

الآن، لندرس تجربة قطة شرودنجر الذهنية التي أخبرنا بها عندما كان يحاول إيجاد ثغرات في نظرية ميكانيكا الكم، فالتجربة هي:

يقول شرودنجر تخيَّلْ بأننا وضعنا قطةً ما في صندوقٍ معدنيّ مُغلق لا يتأثر بالمحيط الخارجي وحَبسْنَا القطة فيه -يا له من تفكيرٍ شرير!- وليس هذا فقط بل زدنا الأمرَ سوءًا، ووضعنا كمية من مادة مُشعّة غير مستقرة بحيث تكون احتمالية تحلُّل المادة المُشعّة بعد

ساعة واحدة ممكنة (مادة مُشعّة غير مستقرة في ميكانيكا الكم يعني أنها من الممكن أنْ تشِعّ في أي وقت وتتحول إلى ذرة من نوع آخر ومن الممكن أنْ لا تشِعّ، هي غير مستقرة بما يعني أننا لا نعلم هل ستشِع أم لن تشِعَّ)، وبذلك حسب ميكانيكا الكم هي تشِعّ ولا تشِعّ في الوقت نفسه إلى أنْ نرصدها بجهاز رصدٍ فنحن نجبرها على أنْ تتخذ حالة معينة إما أنْ تشِعّ وإما لا تشِعّ، والقطة المسكينة محبوسة داخل صندوقٍ معدنيّ مُعين ومعها مادة غير مستقرة (مُشعّة وغير مُشعّة في الوقت نفسه)، ما يقوله «شرودنجر»: أننا سنضع أيضًا عدَّادًا للأشعة يُسمَّى بـ «عداد غايغر-ميولر» وسنضع أيضًا مطرقة وزجاجة تحتوي مادة سامة هي حامض الهيدروسيانيك، كما في الصورة: (كل هذا تخيُّل أم تعذيب!)

قطة شرو دنغر ميتة وحية فى الوقت نفسه



عدّاد غايغر هو عدّاد يَعِدُّ مقدار الإشعاع الذي يتعرض له، يعني إنْ قرأ العداد قراءات معينة معناها أنَّ الذرة شعّت، وإنْ لم يقرأ فهي لم تشِع، ورُبِطَتْ المطرقة بعدّاد غايغر وتحتهم المادة السامة القاتلة كما في الصورة؛ فإذا تحلّلت المادة المشعّة فسيَطرِقُ عداد غايغر-ميولر المطرقة التي بدورها ستكسر الزجاجة التي تحتوي على المادة السامة،

والتي بدورها ستسيل **وتقتل القطة**، ومن جهة أخرى إنْ لم تتحلل المادة المُشعّة فلن يحدث شيءٌ من ذلك القبيل **وستبقى القطة حية**.

والآن سأصحبك معي بعد ساعة واحدة فقط، نحن نعلم بأن الصندوق مغلق في التجربة، وهذا يعني أننا لا نعلم إنْ كانت القطة قد ماتت أم لا بسبب وجود المادة غير المستقرة التي ترتبط حالتها بحالة قطتنا، في الحقيقة لا نستطيع الحكم على حياة القطة أو موتها إلا إذا فَتحْنَا الصندوق المُغلق لنتأكد من أنها حية أو لا! وهذا هو المنطق! إذ سنكون قبل فَتْحِنَا للصندوق المغلق في حالة شك وارتياب إنْ كانت القطة حية أم ميتة؟

وهكذا تلعب ميكانيكا الكم بعقلنا وتقول كوننا في حالة شكٍّ، فستكون القطة في حالة تراكب (الموت-الحياة) أيْ: **ستكون ميتة وحية في الوقت نفسه إلى أنْ نفتح الصندوق لنجبرها على اتخاذ حالة معينة** وهي الموت أو الحياة! هل هذا معقول؟! هل تخيَّلتَ شيئًا بأنه ميت وحيّ فعليًا في الوقت نفسه؟

وعندما نفتح الصندوق ونرصد الذرة نحن نجبر الذرة غير المستقرة أنْ تتخذ وضعية معينة (إما مُشعّة وإما غير مُشعّة)، مما يعني أننا نجبر القطة أنْ تتخذ وضعية ميتة أو حية؟ هذا لا يصدق!

والسؤال الأخير هنا: ما الذي قتل القطة؟ هل هو الإشعاع؟ لا، ميكانيكا الكم تقول لك بأنَّ مَن قتلها هو **فضولنا لفَتْح الصندوق** (لا تحدّق هكذا! نعم فضولنا هو الذي قتلها لنعرفَ هل القطة ميتة أو حية)؛ إذ إنها كانت طوال الوقت في حالةٍ تُدعَى حالة **تراكب كموميّ (Superposition)** يعني أنها كانت ميتة وحية في الوقت نفسه لأن المادة كانت مشعّة وغير مشعّة في الوقت نفسه، وعندما فَتحْنَا الصندوق ورصدنا المادة غير

المستقرة نحن أجبرناها على أنْ تتخذ وضعية وحيدة، وهي أنْ تشِعّ أو لا تشِعّ (يعني قطة ميتة أو حية)!

هنا يمكن استخدام المثل الذي يقول: «**الفضول القاتل**» لأن فضولك المتمثل في فتح الصندوق يجبر القطة على اتخاذ وضعية معينة، والتي من الممكن أنْ تكون وضعية موتها، يجبُ عليَّ أنْ أذكركَ بأنَّ فوتونات الضوء والجُسيمات دون الذرية (كالإلكترونات) موجودة في الطبيعة بشكل متراكب بحيث تكوّن **دالة موجية** بمعنًى آخر (موجة-جسيم) في الوقت نفسه، وهذا ما يُدعَى بالازدواجية كما ذكرنا في تجربة شقّيْ يونغ! إذ إنَّ تجربة قطة شرودنجر -بالفعل- هي مثال مشهور على الانفصام بين الصحة الرياضية والواقع الفيزيائيّ لظاهرة معينة!

فعندما تفتح الصندوق وترى الذرة غير المستقرة وترصدها ستُجبِر الذرة على اختيار حالة واحدة فقط لا غير، وهي (أنْ تشعّ أو لا تشعّ)، وهكذا فأنت تجبر القطة أنْ تكون ميتة (إنْ شعّت الذرة) أو أنْ تكون حية (إنْ لم تشعّ الذرة)، فعندما تفتح الصندوق وترصد الذرة ستنهار الدالة الموجية لتُحدَّد صفة واحدة للذرة، وهذا ما حدث تمامًا معنا في تجربة شقّيْ يونغ عندما نرصد الإلكترون فتنهار الدالة الموجية ليتصرّف تصرّف الجسيم عندما نرصده!

ولنفسر تجربة قطة شرودنجر نحتاج إلى تفسير «كوبنهاغن»[1] الذي يقول بأنَّ القطة قبل فتح الصندوق ميتة وحية بالوقت نفسه؛ إذ

---

(1) تفسير كوبنهاغن: هو أحد التفسيرات المُهمة في عِلم ميكانيكا الكم بحيث وضعَ العلماء «نيلزبور»، و«فيرنر»، و«هايزنبيرغ»، و«ماكس بورن» وغيرهم المفاهيم الأساسية له في السنوات 1924-1928م؛ إذ يفترض أنَّ ميكانيكا الكم لا تسفر عن وصف الظواهر الطبيعية وصفًا موضوعيًا، ولكن تتعامل فقط مع احتمالات الرصد والقياس، ولعلّ أغربَ فروض هذا التفسير أنَّ عملية القياس تؤثر على سلوك النظام الكميّ، أيْ أنَّ عملية القياس تسبب انهيار الدالة الموجية.

إنَّ الاحتمالية لكلتا حالتيْ الموت والحياة هي 50 ٪، وعند فتح الصندوق نختار حالة واحدة فقط (يصبح لدينا احتمال واحد فقط مؤكد بنسبة 100 ٪).

كما قال ديفيد بابينو عن هذه التجربة متخيّلًا نفسه مع القطة داخل الصندوق (متضامنًا معها) «تتمتع قطة شرودنجر بفرصة كمية بنسبة 50 ٪ للخروج من الصندوق على قيد الحياة وفرصة كمية بنسبة 50 ٪ للموت. إذا دخلت الصندوق معها، فسوف يُطبَّق الشيء نفسه عليك. لذلك أنت حقًّا لا تريد أن تفعل ذلك».

وهناك تفسير آخر يفترض بأنه إذا رأينا القطة حية فإنها ستكون بالوقت نفسه ميتة في كَوْنٍ موازٍ لكوننا فرضيًّا، (تحدّثنا عن فكرة الأكوان المتوازية في «فصل معضلة الجَد»)، ولكن لا نعرف حتى الآن ما التفسير الصحيح لهذه التجربة الذهنيّة!

بالطبع، هذه التجربة الذهنية التي تحدّث عنها شرودنجر تعتبر من أكبر كوابيس الفيزيائيين، يعني أنت تقول لي إنَّ الاحتمالات وعدم اليقينية موجودة على المستوى دون الذريّ ولكن أين تذهب هذه الاحتمالات على مستوى العالم الكبير!

لكن مع مرور الزمن أصبح شرودنجر من أكبر مؤيدي نظرية ميكانيكا الكم، والظواهر الأخرى فيها وأخرج لنا معادلات خرافية تُعتَبر من أساسيات ميكانيكا الكم، وهذه المعادلات تدرس في جميع مناهج ميكانيكا الكم في مقدمة المادة، ولكنه ترك لنا هذه التجربة التي لم يعرف أحدٌ حلها أو حتى فَهم الحلول المقترحة! وهكذا نرى بأنَّ قطة شرودنجر من أحد الأشياء المجنونة حقًّا في ميكانيكا الكم!

فكما قال عالم الفيزياء البريطاني ستيفن هوكينغ: «كلما سمعت عن قطة شرودنجر مددتُ يدي نحوَ المسدس!»، أيْ يريد أنْ يقتل نفسه لأن التجربة الذهنية تبدو صحيحة والمعادلات الرياضية لميكانيكا الكم أيضًا، ولكنها مستحيلة في الواقع فكيف يحصل هذا التناقض المُحيّر؟

الصدمة الثامنة في ميكانيكا الكم

«النفق الكموميّ واختراق الحاجز»

اعتُبِرتْ ظاهرة النفق الكموميّ من أكثر الأفكار غرابة ومتعة في الوقت نفسه في علم ميكانيكا الكم؛ إذ ساهمت في تفسير الكثير من الظواهر الطبيعية، ويُعزى لها الفضل في كثيرٍ من التطبيقات التكنولوجية، فما النفق الكموميّ؟ وكيف نستفيد منه؟

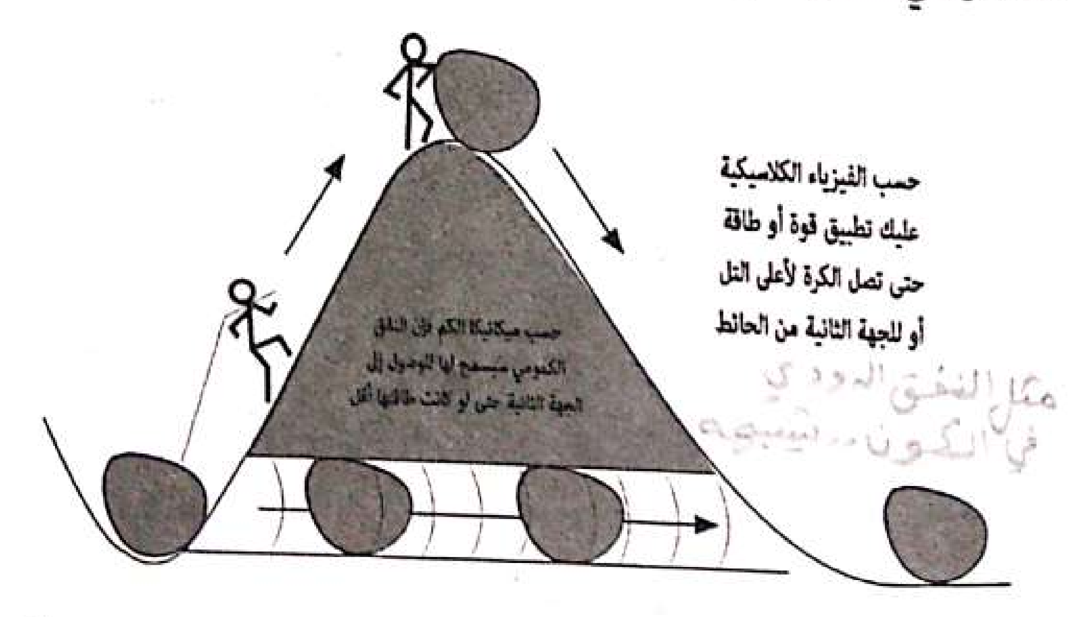
قبل أنْ ندخل في الأفكار الفيزيائية البحتة، دعونا نأخذ مثالًا بسيطًا لنفهم ما هذا النفق الكموميّ؟ خُذ كرةَ تنس صغيرة وارمِها باتجاه الحائط، سترتدّ الكرة -بالطبع- عندما تضربها بالحائط، وهذا طبيعيّ جدًا أنه مَهما رميتَ الكرة على الحائط سترتدّ عنه، فأنتَ تعلم أنَّ الكرة لا تملك الطاقة الكافية لتخترق الحائط دون أنْ تُلحِق به ضررًا إذا اخترقته، وهذا ما نعلمه جميعًا (دون ذكاءٍ خارقٍ).

ولكن في عالم ميكانيكا الكم يختلف الأمر، فظاهرة النفق الكموميّ تقول: إنه يوجد احتمال صغير جدًّا بأنْ تخترقَ الكرةُ الحائطَ لتتابعَ مسيرها للطرف للجهة الأخرى! ولكن تكون الاحتمالية بالنسبة إلى جسمٍ كبير كالكرة معدومة، حتى لو رميتَ الكرة ملايين المرات باتجاه الحائط فلن تخترقه للجهة الأخرى، أما في عالم الذرات فهو عالم صغير بحيث يمكن للإلكترون -مثلًا- أنْ يخترقَ أيَّ حاجز صلب أو حاجز طاقة، أو أيَّ نوع من أنواع الحواجز وكأنَّ الحواجز غير موجودة أمامه، بحيث

يشكّل نفقًا يسمح له بالتحرك عبرَه، وهذا ما نسميه **بالنفق الكموميّ** **(Quantum Tunneling)**.

والشيء الأكثر غرابة من هذا أنه حسب ميكانيكا الكم فإنه يمكن للإلكترون أو أيّ جُسيمٍ أوَّلي أنْ يخترق الحواجز حتى لو أنه لا يمتلك أي طاقة كافية لتجاوزه بفضل ظاهرة النفق الكموميّ! كلمة النفق الكموميّ هي في الواقع كلمة غريبة تجعلك تتخيَّل عندما تسمعها جُسيمًا يشقّ طريقه عبرَ جدارٍ ما، لكن فعليًّا الجُسيم لا يعمل أيَّ ثقبٍ أو نفقٍ أو أيَّ نوعٍ آخر من الفتحات.

بدلًا من ذلك، نحتاج إلى استخدام العملة نفسها التي يتعامل بها علم ميكانيكا الكم المروع: **الاحتمالية**، فكما نعلم أنه يمكن وصف الجُسيم بأنه موجة متذبذبة، ويمثل اتساعها احتمال العثور عليها في مكان معين، عند مواجهة حاجزٍ ما، لا تنتهي هذه الموجة فجأةً، بدلًا من ذلك، تستمر في العبور عبر الحاجز وصولًا إلى الجانب الآخر من الحاجز.



إذن النفق الكموميّ هو احتمال العثور على جُسيمٍ على الجانب الآخر من الحاجز، وليسَ عمل نفقٍ داخلَ الحاجز لكي يعبُر الجسيم، وكلما كان الجُسيم أخف، وكلما كانَ الحاجز أصغر وأضيق، زادَ احتمال حدوث

ذلك وحدوث النفق الكموميّ، مع أنَّ ظاهرة النفق الكموميّ مروعة ولا تصدق، فإنه لولا ظاهرة النفق الكموميّ لما أشرقت الشمس يومًا بل لما وجدنها، لأن وجودها يعتمد على ما يُسمَّى **تفاعل الاندماج النوويّ**.

ولكن كيف يحصل الاندماج النووي داخل الشمس وما علاقته بالنفق الكموميّ؟

أصل الاندماج النوويّ هو أنَّ الشمس فيها حالة المادة تُدعَى بحالة بلازما، حالة البلازما هي إحدى حالات المادة السبعة (صلب، سائل، غازيّ، بلازما، كثافة بوز آينشتاين، الميوعة الفائقة، بلازما كوارك غلويوين)، لننسَ حالات المادة السبعة، ولنركز الآن على حالة البلازما، حالة البلازما تكون فيها الذرة مفككة بحيث تكون الإلكترونات منفصلة عن النواة، وكون الشمس معظمها يتكون من هيدروجين منذ نشأتها فإنَّ الهيدروجين يتكون من بروتون واحد يدور حوله إلكترون واحد، وبسبب الحرارة العالية فإنَّ حالة الهيدروجين تتغير من غازية إلى بلازما بحيث ينفصل الإلكترون عن البروتون وبسبب الحرارة العالية فإنَّ البروتونات الموجبة يحدث لها شيءٌ كبيرٌ وهو ما يُدعَى بالاندماج النوويّ؛ إذ إنها تندمج مع بعضها! ماذا تقول؟ البروتونات هي موجبة الشحنة والطبيعيّ أنْ يحدثَ بينها تنافر، ولكن بسبب الحرارة العالية وقُرب المسافات بين البروتونات بسبب الضغط الكبير فهي تقترب من بعضها كثيرًا مَهما حاولوا أنْ يتنافروا بسبب قوة التنافر الكهرومغناطيسية التي تتولّد بين أي شحنتيْن تملكان الشحنة نفسها، ولكن ما يحصل هو أنَّ البروتونيْن بسبب **الحرارة** في الشمس **والضغط** الكبير يقتربان من بعضهما (رغمًا عنهما) بحيث تصبح المسافة بينهما أقل من طول بلانك (طول بلانك= متر)؛ إذ عند هذه المرحلة يحدث تفاعل اندماج نوويّ، ويبدأ البروتون في سلوك الموجة ويقترب من البروتون الآخر ويتجاوز قوة التنافر

الكهرومغناطيسية بفعل ظاهرة النفق الكموميّ إلى أنْ يتأثر بقوةٍ أخرى تُدعَى بالقوة النووية القوية ويحدث الاندماج النووي.

إذن عند اقتراب البروتونيْن من بعضهما كثيرًا جدًّا بسبب ظروفٍ قاهرة مثل الحرارة والضغط؛ إذ تصبح المسافة بينهما أقل من طول بلانك فإنَّ قوةَ التنافر بينهما يتم تجاوزُها والتغلب عليها عن طريق النفق الكمومي، لتصبح القوة بينهما هي القوة النووية القوية؛ إذ يسلك أحد البروتونيْن سلوكَ الموجة ويندمج في البروتون الآخر، مكونًا لدينا نواة تحتوي بروتونيْن (نواة الديتيريوم).

شرحٌ مُبسَّط: البروتون قد تجاوز حاجز قوة التنافر الكهرومغناطيسية ليندمج مع البروتون الآخر (وعملية تصرُّف البروتون تصرُّفَ الموجة ليندمج مع البروتون الآخر هي عملية تُسمَّى بالنفق الكمومي).

إنَّ احتمالية حدوث ظاهرة النفق الكمومي في ذرات الهيدروجين في الشمس هي مرة لكل ذرة، ومع أنها احتمالية ضئيلة جدًّا فإنَّ الشمس تحتوي على كميات هائلة من الهيدروجين، لذلك هذا الاحتمال الضئيل يُترجَم في 1038 اندماجًا نوويًّا يحصل في الثانية الواحدة ينتج ما يكفي من الضوء والحرارة لجعل الحياة على الأرض ممكنة.

وكمثالٍ آخر على النفق الكموميّ، يفسر النفق الكمومي نوعًا من أنواع **الاضمحلال الإشعاعي**، وهو النوع الذي تَبعث فيه نواةٌ معينة غير مستقرة جُسيماتٍ تُدعَى **بجُسيمات ألفا**. فوَفقًا للتفسير الكمي الذي قدمه كلٌّ من العلماء (جورج جامو، رونالد دبليو جورني وإدوارد كوندون) في عام 1928م، فإنَّ جُسيمَ ألفا يكون محصورًا قبل الاضمحلال بواسطة جهد معين، ومن الممكن قياس الطاقة لجسيم ألفا المنبعث ومتوسط عمر النواة قبل الاضمحلال؛ بحيث يُعَد عمر النواة

مقياسًا لاحتمالية المرور النفقي عبر الحاجز - فكلما كان العمر أقصر، زاد الاحتمال لحدوث النفق الكمومي.

وتحدث ظاهرة النفق الكمومي خلال الاضمحلال الإشعاعي عندما تنبعث جُسيمات ألفا من نواة عنصرٍ غير مستقر، فرغم أنَّ جُسيمات ألفا مرتبطة بقوة بالنواة وليس لديها القدر نفسه من الطاقة للهرب، فإنه لا يزال لديها احتمال للهروب من النواة يتم قياسه وهو نفسه احتمال حدوث ظاهرة النفق الكمومي.

ولولا النفق الكموميّ لما كانت الأجهزة موجودة في حياتنا، فالنفق الكمومي يبدو مخالفًا لكل قوانين الفيزياء، وهذا ما اعتقده العلماء الذين اكتشفوه للمرة الأولى في عام 1927، ولكننا نحن نعلم اليوم أنَّ حفرَ الأنفاق أصبح أمرًا شائعًا وعاديًّا إلى حدٍّ ما في عالم الكم فدونه لن تعمل أشباه الموصّلات والترانزستورات والثنائيات، ولما كانت الأجهزة التي نستخدمها جميعها موجودة في حياتنا.

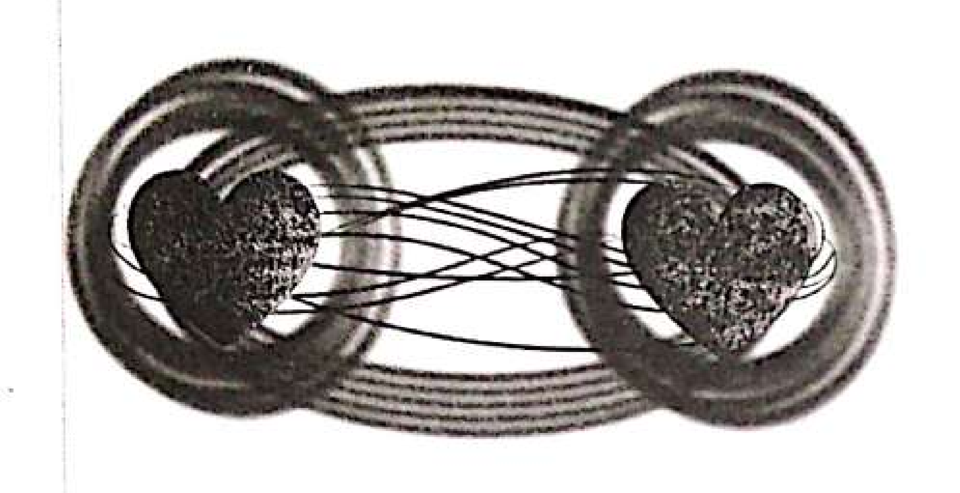
هل نتمكن نحن البشر من استخدام النفق الكمومي في حياتنا واختراق الجدران؟ من الناحية الفنية، يُمكنك ذلك، لكن احتمالات النفق الكمومي حساسة بشكلٍ كبير لكتلة الجسم فكلما زادت كتلة الجسم قَلَّت الاحتمالية؛ إذ إنَّ كتلة الإلكترون كجم وهي صغيرة جدًا، أما متوسط كتلة الإنسان تبلغ نحو 70 كجم! وهذا فرق كبير، حيث إنَّ الاحتمالية ضئيلة جدًا تكاد تكون معدومة!

كتبَ جاك فريزر، خريج فيزياء من جامعة أكسفورد: «لو صدمتَ تريليون شخصٍ بجدارٍ ليعبُره تريليون مرة كل ثانية منذ بداية الكون [قبل 8.13 مليار سنة] إلى الآن – فإنَّ احتمال أنْ يخترق أحدهم من خلال الجدار لا يزال صغيرًا للغاية، إنه [عمليًّا] صفر».

لكنّ المروّع في حين أنَّ شخصًا كاملًا لن يتمكنَ أبدًا من استخدام النفق الكمومي، فإنَّ الكثير من الأنفاق الكمومية تحدث داخلَ جسده، فقد اقتُرِحَ في كثيرٍ من الأبحاث العلمية أنَّ الإنزيمات في جسم الإنسان تعمل بكفاءة من خلال النفق الكمومي، وما زال البحث جاريًا لاستكشاف تأثير هذه الظاهرة وغيرها من الظواهر الكمومية في عمل الآليات الخلوية التي تحدث في جسم الإنسانِ.

الصدمة التاسعة في ميكانيكا الكم

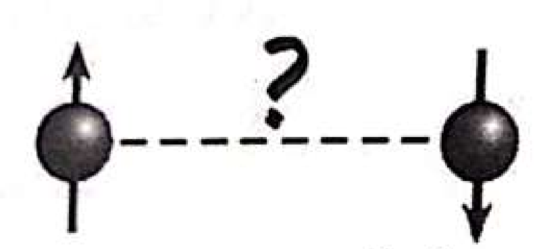
«التشابك الكمومي - الحب على المستوى دون الذري»



عند الحديث عن الحب والرومانسية، غالبًا ما يُجري الأشخاص اتصالاتٍ غير مرئية وباطنية فيما بينهم، ولكن ما تقوله نظرية ميكانيكا الكم، إنه توجد مثل هذه الروابط في العالم دون الذري أيضًا، وذلك بفضل ظاهرة غريبة ومعادية للحدس تُسمَّى **التشابك الكمومي (Quantum Entanglement)**، هل هذا معقول؟! هل هذا يعني أنَّ الإلكترونات والجُسيمات دون الذرية يمكن أنْ تحب بعضها بعضًا، وأنْ تكون بينهم اتصالات؟! دعونا نفهم الفكرة الأساسية من التشابك الكمومي.

الفكرة الأساسية للتشابك الكميّ هي، أنه يمكن ربط أيّ جسيمين ربطًا وثيقًا ببعضهما بعضًا حتى لو تمّ فصلهُما بمليارات السنين الضوئية في الفضاء؛ وإن غيرتَ أيّ تغييرٍ في أحدهما سيتأثر الجسيم الآخر على الفور.

فالتشابك الكموميّ ظاهرة فيزيائية ترتبط فيها الجُسيمات (مثل الفوتونات والإلكترونات والجزيئات) ببعضها بعضًا، رغم وجود مسافات كبيرة تفصل بينها؛ إذ إنَّ الروابط بينهم الآن ليست روابط عاطفية بل ارتباطات في الخواص الفيزيائية التي تُقاس بها هذه الجُسيمات، يُمكن -على سبيل المثال- أنْ نجعل إلكترونيْن متشابكيْن مع بعضهما بعضًا، ونريد أنْ نقوم بتجربة وهي رؤية خاصيّة الدوران الفيزيائية (spin) لدى هذين الإلكترونيْن، والفكرة أنه إذا قِسنا دوران أحدهما وتبيّن أنه يدور حول نفسه بدوران علويّ فالآخر حتمًا سيكون سفليّ الدوران، والعكس بالعكس، بحيث يكون دوران الإلكترونات - مثلًا- عندما لا نرصدها علويًا، وسفليًا في الوقت نفسه، ولكن عندما نرصد أحدَ الإلكترونات المتشابكة نحن نجبره على أنْ يتخذ حالة (لو كان الدوران العلوي) سيعلم بهذا الإلكترون المتشابك به فورًا (ليصبح دورانه سفليًا) بشكلٍ لحظيّ، كما في الصورة:



في عام 1964، افترض الفيزيائيّ «جون بيل» أنَّ مثل هذه التغييرات يمكن أنْ تحدث بشكلٍ لحظيّ، حتى لو كانت الجُسيمات متباعدة جدًا،

رغم أنَّ نظرية بيل فكرة مهمة في الفيزياء الحديثة، لكنها غير منطقية في الوقت نفسه، فبحسب ميكانيكا الكم فإنَّ التأثيرات تنتقل بينهم بشكلٍ آنيٍّ دون أنْ تأخذ أي وقتٍ (لحظيًا)، ولكن هل هذا معقول؟ فنحن نعلم بأنَّ الضوء أسرع شيء في الكون، ولكن ما ظهر لدينا أنَّ تأثير التشابك الكمومي لا يأخذ وقتًا أبدًا فهو لحظيٌّ، ونحن نعلم أنه قد أثبت ألبرت آينشتاين قبل سنوات أنه من المستحيل أنْ تنتقل المعلومات أسرع من سرعة الضوء.

في الواقع، وصفَ آينشتاين ظاهرة التشابك الكمومي بقوله عنها بأنها ظاهرة التأثير الشبحي عن بُعد (Spooky Action at Distance) لأنها لم تكُن تعجبه، فهي تخترق نظريته بأنَّ الضوء هو أسرع شيء في الكون، ولكن حسب ميكانيكا الكم فإنَّ التشابك الكمومي يحدث آنيًّا دون أَخْذِ أيِّ وقتٍ (وبهذا يكون التشابك الكمومي أسرع من سرعة الضوء)، بقيَ آينشتاين يظن أنَّ التشابك يشير إلى أنَّ علم ميكانيكا الكم غير كاملٍ حتى وفاته، بينما اعتقد شرودنجر أنَّ التشابك الكمومي هو خاصية مميزة للفيزياء المعاصرة رغم أنه واجه الصعوبة نفسها التي واجهها آينشتاين في تقبل ذلك؛ إذ إنه قال في رسالةٍ كتبها لآينشتاين يوم 13 من تموز عام 1935: «بالطبع أعلم كيف تعمل الخزعبلات رياضيًّا، ولكنني لا أحب نظرية كهذه».

اعتبر آينشتاين وعلماء آخرون مثل هذا السلوك مستحيلًا، حيث يعتبر انتهاكًا لمبدأ السببيّة التي تحدثنا عنه في الفصل الأول، لدرجة أنَّ آينشتاين كان يجادل في أنَّ الصيغةَ المقبولةَ من ميكانيكا الكم ينبغي أنْ تكون غير كاملة، لاحقًا تم التحقق من التنبؤات غير المتوقعة من ميكانيكا الكم تجريبيًّا من خلال الاختبارات التي جرى فيها قياس

استقطاب أو دوران الجُسيمات المتشابكة في مواقع منفصلةٍ، منتهكة إحصائيًا مبرهنة بيل.

في نصف القرن الماضي، أجرى العديد من الباحثين تجارب تهدف إلى اختبار نظرية بيل، لكنّ مسؤولي وكالة ناسا قالوا إنه من الصعب تصميم وبناء المعدات بالحساسية والأداء المطلوبَيْن لمعرفة إمكانية وجود التشابك الكمومي بين الجُسيمات.

ولكن في سنة 2015 وأخيرًا تمكنتْ ثلاث مجموعات بحثية مختلفة من إجراء اختبارات جوهرية لنظرية بيل، ووجدت جميعها دعمًا للفكرة الأساسية، قاد إحدى هذه الدراسات الفيزيائيّ كريستر شالم في المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا (NIST) لاكتشاف تقنية تسمح برؤية كيف تؤثر قياساتنا على فوتونيْن متشابكيْن ببعضهما بعضًا، هناك تطبيقات عملية لهذه التقنية وهي «كاشفات الفوتون الأحاديّ الموصلية الفائقة الأسلاك النانوية» (SNSPDs) وقال مسؤولو ناسا إنه يمكن استخدامها في التشفير والاتصالات في الفضاء البعيد وغيرها من الاستخدامات للتشابك الكمومي.

الصدمة العاشرة في ميكانيكا الكم

«الانتقال الكموميّ عن بُعدٍ»

ما رأيكم بعالمٍ جديد؟ عالمٌ فيه الانتقال الآنيّ من مكانٍ إلى آخر قد يصبح ممكنًا وأخيرًا؛ حيث يمكنك الاستيقاظ وتناول الفطور في الهند ثم الانتقال للعمل في اليابان، ثم الاجتماع لتناول طعام الغداء في لندن وإنهاء يومك وأخيرًا في مشاهدة الأوبرا في روما!

من المعتاد أنْ تكون هذه الفكرة مجرد خيالٍ علميّ، لكنّ العلماء قد بدأوا باكتشاف تقنياتٍ من الممكن أنْ تجعلها حقيقة، ما الطريقة الأكثر احتمالًا لتحقيق ذلك؟ وهل سيكون ذلك خَطِرًا؟

تتضمن فكرة الانتقال الكموميّ عن بُعدٍ (Quantum Teleportation) مسح جسم كائنٍ ما، ونقل معلوماته إلى موقع آخر، حيث تُستخدَم هذه المعلومات لإعادة تجميع الكائن ذاته من جزيئات وذرات مختلفة.

لنبدأ في الحديث عن فكرة الانتقال الكموميّ عن بُعدٍ، يجب أنْ نتذكر فكرة التشابك الكموميّ إذ تنطوي فكرة التشابك الكموميّ بوجهٍ عام في علم ميكانيكا الكم على ربط الجُسيمات ببعضها بعضًا، والحفاظ على اتصالها، حتى لو كانت تفصلها مسافات شاسعة.

والآن بعد أنْ راجعتَ الصدمة التاسعة، وفهمنا الفكرة الأساسية بالتشابك الكموميّ، سنبدأ تجربتنا الشريرة عن الانتقال الكموميّ.. قام بهذه التجربة العالِمَيْن (أنتون زيلينجر وفرانسسكو دي مارتيني)، إذ استطاعا نقلَ فوتون ضوءٍ عبر 25 كم. الجدير بالذكر بأنَّ تقنية الانتقال الكمومي عن بُعدٍ هي ليست لحظية ولا تخرق سرعتها سرعة الضوء، رغم أنَّ اسمها الانتقال الآني، لكنّ المصطلح خرج قبل أنْ تظهر الفكرة العلمية كاملة لهذه الظاهرة.

سنتعرف في البداية كيف تمكّن هذان العالمان من نقل الفوتون،

وإنْ أردت بعدها أنْ تنتقل فَلَك الخيار.

أحضر العلماء فوتونيْن اسمهما (أ) و(ب) بحيث كانا في حالة ترابطٍ كموميّ بطريقة فيزيائية من خلال تجربة تُدعَى بالاستقطاب (Polarization) للفوتونيْن؛ فتمكّن العالمان باستخدام فلاتر معينة في هذه التجربة، أن يحصلا على فوتونيْن أحدهُما ذو استقطاب أفقي

والآخر عمودي، ولكن لا يمكن حسب التجربة أنْ يعرف العالمان أيّ الفوتونيْن يُسمَّى (أ) أو (ب).

وضع العلماء الفوتون (أ) الذي لا نعلم بعد هل هو أفقيّ أو رأسيّ، في مكانٍ ما قريبٍ منهم، ووضعوا فوتون (ب) المترابط معه في مكانٍ آخر بعيدٍ في دولة أخرى، إذن طِبقًا لمبدأ التراكب الكموميّ الذي تحدّثنا عنه سابقًا فإننا لا نعلم بعد حالة الفوتونيْن، لذلك كلاهما أفقيّ ورأسيّ في الوقت نفسه حتى نقيس أحدهما فيدلّنا على الثاني؛ -فمثلًا- لو قِسنا فوتون (أ) الموجود في المكان الأول، ووجدناه أفقيًا، إذن يُمكننا فورًا التأكد أنَّ فوتون (ب) الموجود في الدولة الأخرى، سيكون رأسيًا، ولكن ما الفائدة من هذا؟ أين الانتقال؟

هنا ستأتي العجائب، سنُحضِر فوتونًا آخر يُسمَّى فوتون (جـ) وستكون زاوية استقطابه مائلة بمقدار 45 درجةً، وسنجعل هذا الفوتون أنْ يعمل تفاعلًا (Interaction) بطريقة فيزيائيّة معينة مع فوتون (أ)؛ إذ يجعل هذا التفاعل فوتون (أ) مستقطبًا بزاوية ٤٥ درجةً أيضًا مثل فوتون (جـ)، لكن يجب ألا ننسى أنَّ فوتون (أ) مترابط أيضًا مع فوتون (ب)، ماذا سيحصل الآن؟!

النتيجة ستكون جنونية، ما وجده العلماء أنَّ فوتون (ب) البعيد عنّا في دولةٍ أخرى، والذي لم نقترب منه قد أصبح استقطابه 45 درجةً!

هنا جُنَّ العلماء لهذه النتيجة المخيفة وحاولوا تفسيرها كالتالي:

ما يقوله العلماء حرفيًا، نُقِل فوتون (جـ) ذو الاستقطاب 45 درجةً إلى الموقع البعيد في الدولة الأخرى عند الفوتون (ب) رغم أنَّ الواقع هو تحوّل فوتون (ب) الموجود في الدولة البعيدة لنسخة من فوتون (جـ).

الموضوع مُعقّد جدًّا، مع أننا نتحدث الآن عن خاصيّة واحدة، وهي الاستقطاب (رأسيّ وأفقيّ)، تخيَّل أنْ نتمكَّن يومًا ما من نقل إلكترون من مكان إلى آخر خلال زمن قصير جدًّا، ولكن نحن نعلم أنَّ الإلكترون لديه الكثير من الخواص وكل خاصية لها الكثير من الاختيارات والاحتمالات، ولو استطعنا نقلهم سننجح فعلًا في نقل الإلكترون، ولو نقلناه سنستطيع نقل أي شيء توجد له كتلة من ضمنهم أنت شخصيًّا؛ عن طريق تفكيكك واستخراج معلومات تركيبك وذراتك وإرسالها، فيجب أنْ نكون قادرين على مسح المعلومات لذرات الجسم البشري، ونقلها إلى مكان بعيد، وإعادة بناء الجسم بالطريقة نفسها التي كان عليها، إنْ كان هذا نظريًّا يُمكن تطبيقه، لكنه علميًّا صعب جدًّا، عدا عن الروح التي لم يفهمها العلماء للآن، ليتمكنوا من نقلها من مكان إلى آخر، وما يقوله العلماء إنه في حالة الانتقال الآني في كل مرة ينتقل فيها عن بعدٍ، فأنت تقوم بشكلٍ أساسيّ بالانتحار، ومن ثَم تُولَد من جديد في المكان الآخر الذي تنتقل إليه.

لكنّ فكرة الانتقال الكموميّ مُهمة بالنسبة إلى الحواسيب الكموميّة ونقل الـQubits؛ إذ تعتبر الحواسيب الكمومية من أهم الأمور التي يبحث عنها الفيزيائيون ويدفعون عليها الملايين للوصول إليها! فهي مُهمة جدًّا في البحوث العلمية والوصول إلى حل المعادلات التي تستغرق سنوات من الحواسيب العادية بوقتٍ قصير جدًّا، إلا أنها خَطِرة في الوقت نفسه؛ إذ يمكنها فكّ التشفير بسهولة وبوقت قصير جدًّا مقارنةً بالحواسيب العادية التي ربما تأخذ ملايين بل مليارات السنوات لعمل ذلك، وهذا يجعل الدولة الأولى التي تستطيع الوصول إلى هذه الحواسيب من أقوى الدول لأنها ستتمكن من فكّ تشفير الحواسيب للدول الأخرى ومعرفة معلوماتهم وخصوصًا العسكرية وغيرها.

تطبيقات في ميكانيكا الكم

مع أنَّ ميكانيكا الكم نظرية غريبة بالنسبة إلى العقل البشري المُتبلّد، لما تَحْمَل في ثناياها شيئًا من الغموض والإبهام إلا أنها نظرية تُعتَبر كأعظم نظرية في القرن العشرين.

- لنتعرف كيف ساعدتنا ميكانيكا الكم في حياتنا اليومية وتطبيقاتها العملية:

➢ استُخدمت في تصميم الليزر، المجهر الإلكترونيّ، الترانزستورات ونظام التصوير بالرنين المغناطيسي، وفي المستقبل القريب سيكون نقل الكهرباء لاسلكيًّا عبر الموجات.

➢ ذاكرة التخزين وصناعة الحاسوب الكمي.

➢ تفسير عمل العديد من الأنظمة الحيوية المختلفة مثل مستقبلات الروائح في الأنف، هياكل البروتين، عملية البناء الضوئيّ في النباتات وبعض أنواع الكائنات الحية.

➢ لعشاق كرة القدم: في المستقبل القريب من المُمكن مشاهدة المُباريات على جميع أرضيات الإستادات في جميع دول العالم في زمن المباراة نفسه دون الحاجة إلى السفر إلى المكان الحقيقي للمباراة، هذا ما تسعى إليه اليابان عبر تقنية الهولوجرام أو النقل الفضائيّ الكميّ والتي من المُفترض أنْ تُطبق في 2022م إذا كان الحظ من نصيب اليابان في استضافة المونديال.

- ويوجد الكثير من التطبيقات المُهمة في ميكانيكا الكم التي تحتاج إلى العديد من الفصول لشرحها.

بهذا ينتهي فصل ميكانيكا الكم على أمل أنْ أكون قد ساهمتُ ولو قليلًا في جعلِكُم أكثرَ ثقةٍ في المرات القادمة حينما يُطرَح موضوعٌ ما في فيزياء الكم. هذا الشرح مبسطٌ للغاية على تعقيده، ولا أتوقع أنْ يكون كافيًا لإخراج آينشتاين صغيرٍ في داخل أيٍّ منكم!

المصادر:

- Pauli's Exclusion Principle: The Origin and Validation of a Scientific Principle Book \ by Michela Massimi.
- Pauli exclusion principle \ MIT Notes.
- Concepts of Modern Physics Book\ by Arthur Beiser
- Quantum Mechanics: The Theoretical Minimum Book \ by Art Friedman and Leonard Susskind.
- Introduction to Quantum Mechanics Textbook \ by Darrell F. Schroeter and David J. Griffiths.
- Dr. Quantum Video on YouTube
- A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes Book \ by Stephen Hawking.
- The Feynman Lectures on Physics, Volume III\ Quantum Mechanics Section.
- In Search of Schrödinger's Cat Book \ by John Gribbin.



الفصل الثامن

8

ماذا سيحصل لك لو دخلتَ الثَّقب الأسود؟

"الطريقة الأكثر إثارة للموت في الفضاء بلا شك هي السقوط في ثَقبٍ أسود".

نيل ديغراس تايسون

هل ستصبح مثل المعكرونة أم الشّواء؟ (Spaghetti or Barbecue)

كما عرفنا مسبقًا، فإنَّ أفق الحدث في الثَّقب الأسود هو كالجسر باتجاهٍ واحد فقط، يعني إذا دخلته لن تخرج منه أبدًا مَهما حاولتْ، هو بوابة إلى عالَمٍ آخر بعيدٍ عن كونِنا الحقيقي.

في هذا الفصل سأخبركم ما درسه بعضٌ من أفضل العقول في الفيزياء عن أُفق الحدث، وسنتأمَّل ما سيحدث لرواد الفضاء عند الوصول إلى أُفق الحدث للثقوب السوداء من نوع (شوارزشايلد) فقط؛ إذ اقترحَ العالم ستيفن هوكينغ أنَّ آفاق الأحداث لهذا النوع من الثقوب السوداء، ليستْ مناطق اللاعودة كما اقترح العالم شوارزشايلد منذ ما يقارب قرنًا من الزمان!

- هل هذا معقول؟! فهذا ما درسناه في الفصول الأولى! فما نعلمه عن هذه الثقوب السوداء أنَّ أيَّ شخص يدخلها سيموت فورًا، فعندما يقترب أيُّ شخص من هذا الثَّقب الأسود سيتمدد جسمه ويصبح مثل المعكرونة إلى أنْ يدخل إلى أفق الحدث، «وهو الحد الذي إنْ دخله لن يستطيع الهرب مجددًا من الثَّقب الأسود مهما فعل»، ليصطدم وأخيرًا بالنقطة المتفرّدة داخل الثَّقب الأسود ويموت، ولكن، ما الذي اقترحه ستيفن هوكينغ عن هذه الثقوب السوداء من جديد؟



حقوق الصورة لموقع ScienceNews

- سأخبرك ببعض الأمور البسيطة ليتغيّر تفكيرك فورًا لما سيحدث عندما تدخل ثَقبًا أسود من نوع شوارزشايلد.

بدايةً، لا أريدك أنْ تنسى بأنَّ الثقوب السوداء من نوع شوارزشايلد هي ثقوب سوداء ناتجة عن حل معادلات رياضيّة فقط، ومن غير المحتمل وجودها في كوننا، كما ذكرنا مسبقًا؛ إذ إنَّ الثُّقب الأسود من نوع كير هو الأكثر احتمالًا في كوننا، ولكن يدرس العلماء هذا النوع من الثقوب السوداء، لأنه من أبرز الثقوب السوداء رياضيًّا، ويعتقد العلماء أنَّ دراسةَ ما سيَحصُل عنده؛ سيساعد في توحيد نظريات الفيزياء العملاقة، وهي ميكانيكا الكم ونظرية النسبيّة العامة، ولكن كيف ذلك؟

لقد أخذَتْ دراسة ما **سيحصل عند أُفق الحدث** للثقوب السوداء **شوارزشايلد** من العلماء أكثر مما يقارب الـ 100 عام؛ حيث كل ما كان يحاول القيام به العلماء هو السّعي لتوحيد النظرياتٍ **النسبيّة العامة والميكانيكا الكم** في نظرية تُدعَى بـ **الجاذبية الكموميّة** (سنتحدث عنها لاحقًا)، ولكن كيف ذلك؟ وما علاقة الثقوب السوداء بتوحيد نظريات الفيزياء الحديثة والتي تساهم إسهامًا كبيرًا في حياتنا العملية واليومية؟ هذا ما سندرسه في هذا الفصل بالتفصيل!

إشعاع هوكينغ

اسم غريب حقًّا! ماذا تعني كلمة إشعاع هوكينغ؟ إنه الإشعاع الذي ينبعث من الثَّقب الأسود، وكما يُوحي الاسم فإنَّ مُكتشفَه العالِم ستيفن هوكينغ.

بدأت فكرة إشعاع هوكينغ في عام 1972م، عندما افترض العالم جاكوب بيكنشتاين أنَّ الثقوب السوداء يجب أنْ يكون لها ما يُسمَّى بالفيزياء «إنتروبيا Entropy»، ربما أنت تسأل نفسك الآن، ما الإنتروبيا؟

تُعتبَر الإنتروبيا مفهومًا فيزيائيًا مأخوذًا من فرعٍ بالفيزياء يُدعَى بفرع الديناميكا الحرارية، وينص في الأساس على أنَّ كل شيءٍ يجب أنْ يُطلِق ويَبعث حرارة، ما لم تكُن درجة حرارته تساوي **صفرَ كلفن** أيْ بدرجات السِلسيوس التي نعرفها (**- 273 درجة مئوية سِلسيوس**)؛ مما يعني أيّ جسمٍ يملك درجة حرارة فوق - 273 سِلسيوس يجب أنْ يَشعَ حرارة؛ -فمثلًا- أجسامنا تشعّ حرارة دائمًا؛ لأنَّ درجة حرارة أجسامنا كإنسان عادةً تكون 37 **سِلسيوس** وبما أنَّ حرارتَنا فوق - 273 سِلسيوس إذن فإننا نَشعّ حرارة وطاقة دائمًا.

وطبعًا هذا القانون يجب تطبيقه على كل شيء في الكون، وبما أنَّ الثقوب السوداء موجودة في كوننا وتمتلك حرارة عالية، فهذا القانون يشمل أيضًا الثقوب السوداء، لكن كما نعرف مِن السابق، بأنَّ الثقوب السوداء دائمًا تقوم بامتصاص الأشياء بلا رحمة! إنها لا تبعث أبدًا أيّ شيءٍ فهي كالوحش، تبتلع كل شيءٍ يقترب منها حتى الضوء!

- لكن بعد كل ما درسناه عن الثُّقب الأسود وكيف يبتلع الأشياء بلا رحمة يأتي ويقول العالِم بكنشتاين: إنه ينبغي أنْ يكون هناك بعض الحرارة التي يجب أنْ يُطلقَها الثُّقب الأسود، حسب قوانين فرع الفيزياء المشهور باسم «**فرع الديناميكا الحرارية**»!
- أُكِّدَ ذلك باستخدام المعادلات الفيزيائية ليأتي بعدها العالِم ستيفن هوكينغ ويأتي بالضربة القاضية لنا في عام 1973م، عندما ذهب إلى موسكو لمقابلة عالِميْن سوفيتييْن، أظهر ستيفن هوكينغ فيما بعد المقابلة أنَّ الثقوب السوداء يجب أنْ تنبعث منها جُسيمات وفقًا لمبدأ فيزيائيّ يُدعَى بـ «**مبدأ عدم اليقين**»؛ فهناك احتمالية حتى لو كانت ضئيلة

جدًّا لانبعاث الجسيمات من الثُّقب الأسود، قد تحدّثنا عن هذا المبدأ سابقًا في فصل سحر ميكانيكا الكم.

قادَ هذا العالِم ستيفن هوكينغ في عام 1974 إلى نشر ورقته عن إشعاع هوكينغ! وتُعرف هذه الورقة أيضًا باسم **تبخُّر الثُّقب الأسود Black Hole Evaporation!**

لذا هل هذا كل شيء! كفانا دراسة التاريخ! الآن دعونا ندرس مبادئ فيزيائية، كان ستيفن هوكينغ يُحاول إيجاد طريقة لدراسة الثقوب السوداء، حسب نظرية ميكانيكا الكم، لأننا -لو لاحظتُم- حصلنا على أغلب المعادلات والنتائج عن الثُّقب الأسود كانت عندما حلَّ العلماء معادلات آينشتاين في **نظرية النسبيّة العامة**، وكما نعلم فإنَّ نظرية النسبيّة العامة تختص بدراسة كل شيءٍ كبيرٍ! مثل النجوم والكواكب، ونحن وأيّ شيءٍ فوق مستوى الذرة يعني أكبر حجمًا من الذرة، إلخ؛ لكن حاول العالِم ستيفن هوكينغ أنْ يخرج هذه المرة عن المألوف وأنْ يدرس الثقوب السوداء حسب **نظرية ميكانيكا الكم** (عالم الأجسام الصغيرة على مستوى الذرات)!

لذلك لم يكُن يدرس الثقوب السوداء بينما تبتلع النجوم والكواكب بل درسها عندما تبتلع هذه الثقوب السوداء الجسيمات الصغيرة جدًّا على مستوى حجم الذرات، ودرس كيف ستتفاعل هذه الجسيمات الصغيرة مع الثقوب السوداء.

وبما أنَّ نظرية النسبيّة العامة لا يُمكنها أنْ تُفسّر سبب خروج إشعاع هوكينغ من الثُّقب الأسود، مع أنَّ الثقوب السوداء معروفة أنها تبتلع كل شيء في الكون، فربما ستستطيع ميكانيكا الكم أنْ تُفسّر لنا السبب في ذلك!

درسَ العالِم ستيفن هوكينغ جسيمات مهمة في ميكانيكا الكم، وهذه الجسيمات ليست حقيقية! ولكن كيف ذلك؟ نحن نعلم ما الجسيمات الحقيقية، هي أيّ جسيمات موجودة في كونِنا سواءً كانت كبيرة نستطيع أنْ نراها أو صغيرة جدًّا، كمكونات الذرة وهذه الجسيمات الحقيقة الوحيدة في كوننا فقط، ولكن ما نوع الجسيمات التي درسها ستيفن هوكينغ؟ والتي قال عنها أنها غير حقيقية! وأين تُوجد في كوننا؟ إنَّ هذه الجسيمات لا تُسمَّى بجسيمات عادية بل تُسمَّى **بجسيمات افتراضية Virtual Particles**، ولكن أين تُوجد هذه الجسيمات؟ سنرى الآن....

ما الجسيمات الافتراضية؟

لقد تعرّفنا عليها بطريقة مُبسّطة في الفصل الماضي، ولكن سأشرحها هنا أيضًا لأننا نحتاج إلى أنْ نتعرف عليها بشكل أعمق لنستطيع معرفة إجابة عنوان الفصل الذي بدأناه.

لنبدأ ببعض الرياضيات البسيطة..

لنفكّر في الرقم (صفر)، ماذا يعني هذا الرقم؟ هذا الرقم في الأساس يعني لا شيء، أليس كذلك؟ وهناك العديد من الطرق الرياضية لنصل إلى إجابة تساوي صفرًا «0».

مثلًا: $1-1=0$

هذه المعادلة البسيطة التي درسناها في المدارس من الصف الأول هي مَن ستساعدُنا في فَهم حقيقة هذه الجسيمات الافتراضية! ونحن نعلم بأنَّ أيَّ مكانٍ معين نقول عنه فارغًا يعني أنه لا يوجد فيه أيّ شيء؛ -مثلًا- إذا قُلنا بأنَّ غرفة ما فارغة فهذا يعني أنها فارغة من كل شيء (من الطاولات والكراسي وكل كل شيءٍ حتى الهواء) فهذا مفهوم الفراغ لأيّ شخصٍ عاديّ طبيعيّ (وإنْ قُلت لطالب صفٍّ أوّل قد أخذ أوّلَ درسٍ

في الرياضيات، وهو درس (الرقم صفر)، وقد سألته ما الفراغ رياضيًّا؟ سيقول لك بأنَّ الفراغ هو مكان يحتوي عددَ صفرٍ من الأشياء! فعندما تفكّر في الفراغ فهو شيءٌ خالٍ من كل شيءٍ! أعني أنه لا يُوجد شيءٌ فيه... وهذا التفسير صحيح تمامًا حسب علم الفيزياء القديم «الفيزياء الكلاسيكية» أي الفيزياء الموجودة في أيام العالم نيوتن، ولكن بحسب علم ميكانيكا الكم، يقول لك هذا العلم بكل جنون بأنَّ الفراغ يحتوي جسيمات معينة! هل هذا معقول؟! ليس هذا ما تخبرنا به ميكانيكا الكم فقط، بل ما تقوله أيضًا هو أنه لا يوجد مكان في الكون فارغ لا يحتوي شيئًا! مَهما حاولت إفراغ أي مكان من أي شيء يجب أنْ يبقى يحتوي جسيمات بداخله، ولكن ماذا تُسمَّى هذه الجسيمات؟! **إنها الجسيمات الافتراضية!**

بحيث يتم في الفراغ إنشاء هذه الجسيمات باستمرار وتدميرها على الفور بوقت قصير جدًا لا نستطيع نحن البشر ملاحظتها فيه! إذا لم تُدهِشكَ هذه الجملة بشدة، فأنت تخلو حقًّا من العواطف!

ما يحدث في الفراغ شيءٌ غريبٌ، ففجأة يظهر جُسيم مادة طبيعية نعرفها، ومضاد هذا الجسيم من مكانٍ واحد ثم يصطدمان ببعضهما مرة أخرى، ويعود الفراغ فارغًا مرة أخرى.

مثلًا: يظهر إلكترون من الفراغ مع بوزترون في الوقت نفسه، ثم يعودان ويصطدمان ببعضهما بعضًا مرة أخرى؛ إذ إنَّ الإلكترون جُسيمٌ نعرفه في كوننا الحقيقي، ومضاده جُسيمٌ يُدعَى بوزترون؛ يعني أنَّ البوزترون هو الإلكترون نفسه دون أيّ فارق بحيث يَملك كُتلته نفسها، ولكن يختلف عنه فقط في الشحنة، حيث إنَّ شحنته موجبة، أما شحنة الإلكترون سالبة.

وكما قُلنا يظهر جُسيم المادة ومضاده في اللحظة نفسها، ثم يصطدمان ببعضهما بعضًا فورًا بعد تكوّنهما، ويُبيدان بعضهما بعضًا، هل تستطيع تخيُّل ذلك معي؟

جسيمان يخرجان من الفراغ ثم يصطدمان ببعضهما بعضًا، ويُبيدان بعضهما بعضًا فيعود الفراغ فارغًا كما كان وهكذا...

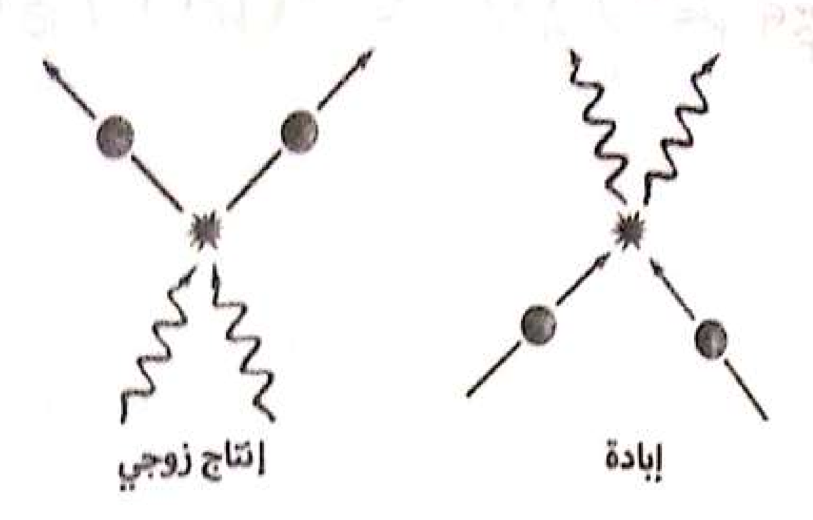
كل هذا نعرفه من الفصل الماضي -إنْ قرأته ولم تقفز لهذا الفصل فور قراءة عنوانه- لكن ما أريد أنْ أضيفه، إذا كنتَ ماهرًا في فيزياء المدرسة سيخطر فورًا على بالك سؤالٌ مهم؟!

أين قانون حفظ المادة الذي تعلمناه في المدرسة؟ القانون الذي ينص بأنَّ «المادة لا تُفنى ولا تُستحدَث»، لأن الجسيمات الافتراضية كما ذكرتُ تخرج فجأة من الفراغ ثم تُبيد بعضها بعضًا وتُفنى؟ ولكن كيف هذا ونحن نعلم حسب قوانين الفيزياء بأنه من المستحيل أنْ يتم إبادة مادة أو جُسيم عن الوجود حسب قانون حفظ المادة.

- هنا الإجابة ستكون معادلتنا البسيطة: 1 - 1= صفر

إذ إنَّ **المادة العادية** تُمثل الرقم 1 **والمادة المضادة** تُمثل الرقم - 1، بحيث عندما كان الفراغ لا تُوجد فيه مادة، كان يحتوي على عدد صفرٍ من المواد، وعندما تَولّد لدينا الجُسيم والجُسيم المضاد 1 & - 1 فإنه عند جمع مادتهم فإنَّ الجواب يساوي صِفرًا أيضًا، وهكذا فإنَّ الإجابة دائمًا تساوي صفرًا لكمية المادة سواءً كانت هذه الجُسيمات موجودة أو غير موجودة في الفراغ.

وبهذا لا يتم انتهاك قانون حفظ الكتلة؛ لأن مضاد المادة هو عكس المادة، لذلك عندما يتم إنشاؤهما معًا، هناك كمية متساوية من المادة ومضادة للمادة تتكوّن وتُباد بشكلٍ متتابع!



ومن المُهم، كما ذكرتُ مسبقًا، تذكر بأنَّ هذه الجسيمات لا تبقى لوقتٍ طويل أبدًا، بحيث إنها تبقى لوقتٍ قصير جدًّا جدًّا، (لأجزاء صغيرة جدًّا من الثانية) بحيث لا يُمكن لأعيننا البشرية أنْ ترى هذه الجسيمات التي تَتخلّق أبدًا، لأنها تبيد بعضها بعضًا في وقتٍ قصير جدًّا بعد أنْ تتخلّق.

ماذا يحدث إذا دخلت جسيمات افتراضية الثَّقب الأسود؟

الآن بعد أنْ عرفنا عن الجسيمات الافتراضية، دعونا ندرس الثقوب السوداء، وماذا يحدث إذا دخلتْ هذه الجسيمات الافتراضية الثَّقبَ الأسود؛ لأن الثَّقب الأسود يبتلع كل شيءٍ حوله، لذا يوجد بالقرب منه **فراغٌ كبيرٌ** فهو يمتص كل شيءٍ بالفضاء القريب منه، ومِن ثَمَّ فإنَّ الفضاء بالقرب منه، يكون فارغًا من كل غبارٍ أو نجومٍ!

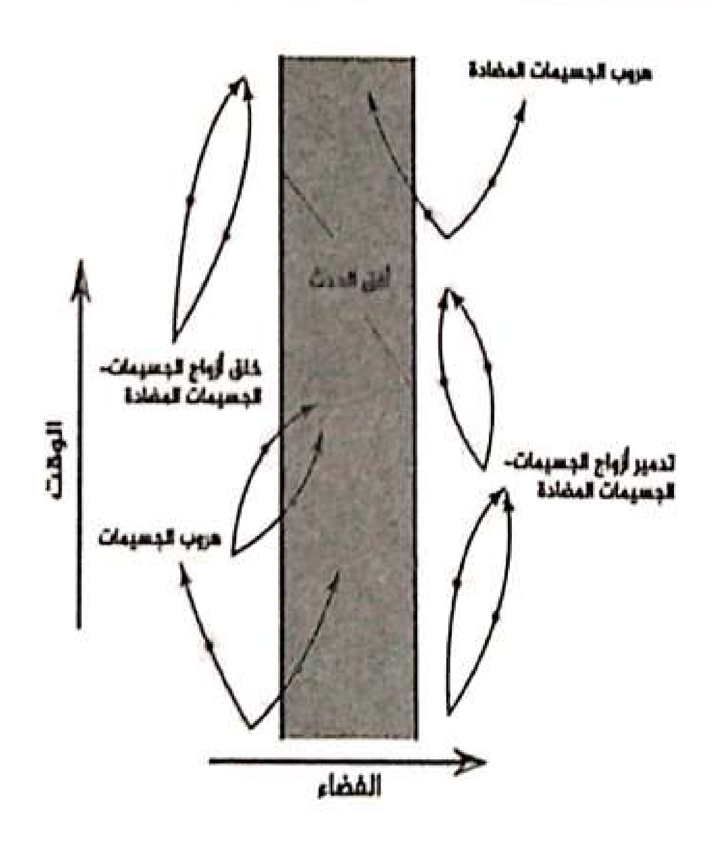
باختصار إنَّ الثقوب السوداء مجرد وحشٍ كونيّ ضخم يمتص كل شيءٍ يقترب منه؛ وهكذا فإنَّ الثقوب السوداء تبتلع كل الضوء، لذلك تبدو سوداء لنا، وهذا سبب تسميتها بالثقوب السوداء كما تحدثنا مُسبقًا!

ولكن هذه الصورة للثَّقب الأسود تتغير مع إشعاع هوكينغ! ولكن كيف هذا؟ إذ قال هوكينغ جملته المشهورة «الثقوب السوداء هي ليست سوداء تمامًا»؛ بسبب إشعاع هوكينغ الذي يَخرج منها، كيف يُمكن لما

تُسمَّى بـ «إشعاعات هوكينغ» القدرة على الهروب من شيءٍ لا يستطيع الضوء حتى الهروبَ منه؟

للإجابة على هذا السؤال ستجتمع كلّ الفيزياء التي شرحتها سابقًا مع بعضها بعضًا، لنعرف الإجابة!

ما يحدث هو أنّ المكان بالقرب من أُفق الحدث للثُّقب الأسود، يكون مكانًا فارغًا لذلك تُظهِر أزواج الجسيمات الافتراضية (المادة والمادة المضادة)، وبسبب قوة الجاذبية الهائلة للثُّقب الأسود، قد يتمكّن الثُّقب الأسود من امتصاص أحد الجسيمات، وأنْ يستطيع الجسيم الآخر الهروب، كما في الصورة، وكأنَّ الثُّقب الأسود كالشرير الذي يفرّق الحبيبيْن فيبتلع أحدهما ويستطيع الآخر الإفلات والهروب.



وبما أنه سيبقى جسيمٌ واحد من الزوجيْن هاربًا، وقِسْ ذلك على عدد هائل من أزواج الجسيمات الافتراضية التي تتكون بالقرب من الثُّقب الأسود والتي تتفرق ويهرب أحد الزوجيْن منه، ليبتلع الثُّقب الأسود

زوجه الآخر؛ وهكذا إذا أراد أيُّ شخصٍ أنْ ينظر من خارج الثُّقب الأسود إلى الثُّقب الأسود، فإنه سيرى أنَّ هناك جسيمات هاربة يتم إشعاعُها من الثُّقب الأسود! وكأنَّ الثقب الأسود يُطلق رصاصات منه! وهكذا تمت تسميتها «بإشعاع هوكينغ».

لكن هذه الجسيمات لا تُطلَق من داخل الثُّقب الأسود، بل من المنطقة الفارغة المحيطة فيه، أيْ خارج أفق الحدث لهذا الثُّقب الأسود.

ولأسباب علمية -عادةً- تبتلع الثقوب السوداء المادةَ المضادةَ وليس المادة عند تخلُّق الجسيمات الافتراضية حولها، وما يقوله العلماء علميًا بأنَّ المادة المضادة تقلل من حجم الثُّقب الأسود عندما يبتلعها (الثُّقب الأسود محظوظ! فهو يأكل مواد بشكل كبير ولكنه لا يسمن بل تقِلّ كتلته أكثر، هذه المواد التي تأكل وتنحف في الوقت نفسه)، وهذا يعني أنه كلما ازداد عدد أزواج الجسيمات الافتراضية التي تتخلّق في الفراغ الموجود حول الثُّقب الأسود، ابتلع الثُّقب الأسود جزءًا أكبر من المادة المضادة وصغُر حجم الثُّقب الأسود إلى أنْ يتبخر وينتهي من الوجود! ولهذا السبب سمَّى العالِم ستيفن هوكينغ هذه الظاهرة بـتبخُّر الثُّقب الأسود Black Hole Evaporation.

إذا كان الثُّقب الأسود كبيرًا بما فيه الكفاية، فمِن الواضح أنه سيبتلع الكثيرَ من الأشياء القريبة منه (النجوم والغبار وغيرها)؛ وسيكون تأثير هذه الجُسيمات الافتراضية (المادة المضادة) طفيفة جدًّا، على كتلة الثُّقب الأسود الهائلة عند مقارنتِها بالكميات الهائلة من الأشياء التي يمتصّها الثُّقب الأسود من مواد كبيرة حوله، ولكن إذا كان ثقبًا أسود صغيرًا، فإنَّه سيُشِعّ في الواقع أكثر مما يَمتص من مواد كبيرة! وهذا بدوره يعني أنه مع مرور الوقت، سيصبح الثُّقب الأسود أصغر وأصغر حتى يختفي في النهاية، وهذا هو تأثير إشعاع هوكينغ الذي يجعل

هذه الوحوش تختفي مع الوقت، وهكذا عندما اقترح ستيفن هوكينغ أنَّ الثقوب السوداء المتوحشة ليست أبدية الوجود، بل ستموت يومًا ما في المستقبل البعيد، فحتى لو افترضنا (قُلنا افترضنا) أنَّ الثقوب السوداء التهمت كلّ المادة تقريبًا في الكون، تاركة القليل من المواد الأخرى حولها التي لم تبتلعها بعد، يجب أنْ يتسرب إشعاع هوكينغ ببطءٍ من آفاق الحدث، حتى يتبخَّر كل ثَقبٍ أسود موجود في الكون.

أدرك هوكينغ بسرعة العواقب الوخيمة لاقتراحه في ورقته هذه عن إشعاع هوكينغ؛ إذ تسببت هذه الورقة بفوضى كبيرة في المجتمع العلمي، فقد أوضحت مشكلات كبيرة أكبر مما تظنون، وأكبرها أنه إذا اختفى الثَّقب الأسود في نهاية المطاف، فيجب أنْ تختفي جميع المعلومات التي تدخله لأنها ستتبخر معه، لكن مشكلته أنه ينتهك المبدأ الأساسي في نظرية ميكانيكا الكم: الذي **يقول بأنه لا يُمكن تدمير المعلومات**، يُمكن للفيزيائيين أنْ يتقبّلوا أنَّ جميع الجُسيمات التي يبتلِعُها الثَّقب الأسود داخله، لا يُمكن الوصول إليها إلى الأبد وأنَّ الثَّقب الأسود وحشٌ مخيفٌ لا نعرف ما يحصل للمواد داخله، لكنهم واجهوا صعوبة في تقبُّل أنَّ الثقوب السوداء ستتلاشى وتختفي يومًا ما (ولو بعد مليارات أو تريليونات السنين) دون أنْ يترك أي أثر.

وهنا خرج الفيزيائيّ النظريّ العظيم بجامعة ستانفورد ليونارد سوسكايند، الذي سمعَ أفكار هوكينغ في مؤتمر عام 1981 بقوله عن نظرية ستفين هوكينغ: «لقد انتهك كل ما عرفتَه عن ميكانيكا الكم».

لم تُعجِب فكرة هوكينغ عالِمنا «ليونارد سوسكايند» لذلك حاول منذ ذلك الحين حل مفارقة ضياع معلومات الثَّقب الأسود، وبحلول نهاية القرن اعتقد أنه قد حلها باقتراح ما يُسمَّى **بمبدأ التكامُل** **complementarity**، وقال فيه بأنَّ «المعلومات يُمكن أنْ تَعبُر ولا تَعبُر

أُفقَ الحدث أبدًا في الوقت نفسه، ما دام لا يُمكن لمراقبٍ واحد رؤيتَها في كلا المكانيْن».

ولكن ماذا يقصد بهذا؟

تخيَّل بأنه سقطَ جُسيمٌ افتراضي ما في ثَقب أسود، وأنَّ هناك رائدَ فضاء يَسقط بجانبه؛ فإذا حاول رائد الفضاء هذا النظر إلى الجسيم الافتراضي أو إلى نفسه وهما يسقطان بداخل الثَّقب الأسود، فإنه لن يشعر أنهما يسقُطان داخل الثَّقب الأسود (يعني كلاهما يَسقُط في الثَّقب الأسود، ولكن لن يعرفَ رائد الفضاء أنهما يَسقطان داخل هذا الوحش! وليس هذا فقط، ما يقوله أيضًا لو كان هناك رائد فضاء آخر يُراقب من خارج الثَّقب الأسود لن يرى صديقَه أو الجُسيمَ يَمرّان عبر أُفق الحدث، بل من وجهة نظره، سيقترب الجسيم الافتراضي من الأُفق اقترابًا محفوفًا بالمخاطر، ولكن لن يتخطّاه أبدًا إلى داخل الثَّقب الأسود، بل **ستبقى صورته معلّقة على حدود أُفق الحدث للثَّقب الأسود،** ولن يدخله أبدًا، هل هذا معقول! (الفكرة كأنك تدخل الباب إلى غرفة أخرى ولكن لن يراك صديقك بأنك قد دخلت غرفة أخرى بل سيرى آخر صورة لك وأنت تفتح الباب للدخول) وليس هذا فقط، يكمل العالِم «سوسكايند» ويقول: إنه في نهاية المطاف، مع تبخُّر الثَّقب الأسود ربما بعد تريليون تريليون تريليون تريليون عام! سيرى رائد الفضاء الموجود خارج الثَّقب الأسود (لو بقيَ حيًّا!) إشعاعَ هوكينغ المرتبط بالجُسيم ورائد الفضاء اللذين دخَلا الثَّقب الأسود.

تفسير «سوسكايند» غير بَدَهيّ لكن يجب أنْ نعتبره على الأقل أنيقًا، لأنه يتم من خلاله حل مشكلة ضياع المعلومات؛ لأنه يتم الحفاظ على المعلومات لكل من المراقبين، بحيث يمكن لرواد الفضاء الموجودين في الخارج أنْ يَجْمعوا كلَّ شيء سقطَ في الثَّقب الأسود الشاسع -بطريقةٍ

ما- من خلال مراقبة أُفق الحدث، وهكذا لن تختفي المعلومات عندما يموت ويتبخَّر الثُّقب الأسود.

وهنا جاء العالم **خوان مالداسينا** من معهد الدراسات المتقدمة في برينستون، ليكمل على إيقاع العالِم «سوسكايند» ليقترح لنا مبدأ آخر مجنون وهو **مبدأ الهولوغرام The Holographic Principle**، الذي يقول إنه مثلما يُمكن أنْ يتمَّ تصوير الهولوغرام ثنائيّ الأبعاد كأنه ثلاثي الأبعاد، فإنَّ سطحَ الثُّقب الأسود -الذي نعلم أنه كرة ثلاثية الأبعاد- يكشِف نظريًّا كلَّ شيءٍ داخل إليه على أُفق الحدث وكأنه سطح ثنائيّ الأبعاد. (قد أوجزتُ في جزءٍ يتطلب تفاصيلَ أكثر، لكن أريد أنْ أضيف إلى ذلك الإيجاز؛ إنَّ هذا المبدأ يُدّعم مبدأ التكامُل للعالِم «سوسكايند» تدعيمًا كبيرًا؛ إذ يعطي طريقة لرواد الفضاء لجمع المواد الموجودة على حدود أفق الحدث لحل مشكلة ضياع المعلومات).

هل مَن يدخل الثُّقب الأسود سيموت عندما يتحول إلى المعكرونة أم عندما يتم شواؤه وحرقه؟

كما عرفنا مسبقًا، قد واجه الفيزيائيون، منذ السبعينيات، صعوبة في الوصول إلى اقتراحٍ يصف مصير أي شيءٍ يدخل الثُّقب الأسود ولا ينتهك نظريات الفيزياء في الوقت نفسه، حتى ظهر لنا العالم سوسكايند بمبدئِه لينقذنا **بمبدأ التكامل** وليأتي العالم مالداسينا ويساند أيضًا مبدأ التكامل بمبدئه **مبدأ الهولوغرام**، كما تحدثنا مسبقًا، ولكن بدأتْ تظهر لنا مشكلات فيما اقترحه العالِمان سوسكايند ومالداسينا عام 2012م.

- أَبعْدَ ما أجهدتْنا أذهانُنا لنفَهم فكرة مبادئِهما الغريبة، تقول لنا بأنه توجد فيها مشكلات أيضًا؟!

- نعم. فإنَّ مبدأ التكامُل يقول: إنَّ أيَّ رائد فضاء يسقُط في ثَقبٍ أسود لن يلاحظ أيَّ شيءٍ خاص خلال عبوره أُفق الحدث، وأيضًا لن يرى المراقب الخارجي لرجل الفضاء هذا أنه يصل إلى أفق الحدث، بل **ستبقى صورته معلّقة على حدود أُفق الحدث للثُّقب الأسود** وهكذا فإنَّ المعلومات ستكون محفوظة لجميع المراقبين، لكن الذي لم نفكّر به إنَّ التكامل يكسر قاعدة أخرى لميكانيكا الكم (**وهي «التشابك الكمومي»**)!
- ما علاقة التشابك الكمومي الذي درسناه في الفصل السابق بهذه المعضلة؟ -لقد سئمت حقًّا من هذه المعضلة- كلما اعتقدت بأننا قد وصلنا أخيرًا إلى معرفة ما سيحصل لنا عندما ندخل هذا الثُّقب الأسود المخيف؛ تُخبرُني بأنَّ كل حلٍّ لديه انتهاكات ومشكلات!
- قد تكون هذه المرة الأخيرة التي ننتهكُ قاعدةً في ميكانيكا الكم؛ ولنفهَم المشكلة الجديدة التي ظهرت لدينا، علينا أنْ نتذكرَ أولًا ما التشابك الكموميّ؟ فهو الذي يربط خصائص الجسيمات الأوَّليَّة ببعضها بعضًا بغض النظر عن المسافة بينهما. لكن ما يقوله مبدأ التكامُل: إنه إذا سقط أحد الجسيمات المتشابكة بالقرب من أفق حدث الثُّقب الأسود، بينما هرب الآخر -والذي سمّيناه بـ إشعاع هوكينغ-، فإنه وفقًا لمبدأ التكامُل -كما يقول العالِم سوسكايند-، يجب أيضًا أنْ يتشابك الجُسيم الهارب مع جُسيم هوكينغ آخر في الفضاء الخارجي (حتى الجُسيمات الأولية تخون بعضها بعضًا!)، فعندما دخل أحد الزوجيْن الأصليين الثُّقب الأسود واستطاع الجُسيم الآخر الهرب، بَقِيَا على علاقة

تشابك معًا، ولكن ما فَعَله الجسيم الهارب أنه انتهزَ فرصة وجود زوجه داخل الثُّقب الأسود ليبحثَ عن شريكٍ آخر جديد موجود معه في الفضاء الخارجي ليتشابك به أيضًا، (وليصبحَ لديه زوجان اثنان)! ولكن لسوء حظ هذا الجُسيم الهارب السعيد! فإنَّ هذه الفكرة في مبدأ التكامُل والتي سمّاها العلماء معضلةَ تعدّد الأزواج (Entanglement Polygamy)، تنتهك ميكانيكا الكم؛ فلا يُمكن أنْ يحصل هذا حسب نظرية ميكانيكا الكم: لا يُمكن للجُسيم الواحد أنْ يملكَ زوجيْن متشابكيْن به!

ولتصحيح هذا الانتهاك لنظرية الكم، جاءَنا العالِم **بولتشينسكي** وفريقه ليحلَّ مشكلة مبدأ التكامُل للعالِم «سوسكايند» وليقترح أخيرًا **قطع التشابك الكمومي الذي يمتدّ عبرَ أفق الحدث**، يعني أنه فور دخول أحد الزوجيْن من الجسيمات الافتراضية إلى الثُّقب الأسود وهروب الآخر، فإنه ينقطع هذا التشابك الكمومي بينهما فورًا، وهذا يُحتّم على الجسيم الهارب الموجود خارج الثُّقب الأسود أنْ يبحث عن شريكٍ له من الجُسيمات الهاربة الأخرى الموجودة في الخارج من ضمن إشعاع هوكينغ ليتشابك معه! وهكذا... وكأنما تقوم أفق الحدث للثقوب السوداء بقطع التشابك الكمومي بين الجسيمات الافتراضية فور وقوع أحد الأزواج داخلها، وليس هذا فقط بل تزاوج الجُسيم الهارب مع جسيمٍ هاربٍ آخر من إشعاع هوكينغ، وهكذا... وأخيرًا تخلّصنا من فكرة وجود تشابك كمومي عند أفق الحدث، ولكن هل سيكون هنالك أي تبعاتٍ أو مشكلات علمية لذلك؟ هل سينتقم الجُسيم الواقع داخل الثُّقب الأسود لتزاوج شريكه مع آخر غيره، ما تولّدَ لدينا فعليًا من أفكار بولتشينسكي وفريقه العلمي مصيبةٌ عجيبةٌ، ربما هي ناتجة عن لعنة الجُسيم الواقع داخل الثُّقب

الأسود بسبب قطع التشابك الكمومي بزوجه الآخر، ليخرج لنا -وأخيرًا- حسبَ المعادلات الرياضية أنَّ قَطْعَ التشابك الكمومي الأصليّ سيشكّل جدارًا من الطاقة على حدود أفق الحدث لا يمكن اختراقُه، ويحرق أيّ شيءٍ كبيرٍ أو صغيرٍ يحاول المرور عبر أفق الحدث، وأطلق العلماء على هذه الحدود التي لا ترحم بـ (جدار حماية Firewalls).

نهايةً، وصلنا إلى الحل النهائي وأخيرًا كما وعدتكم مسبقًا؛ إذ تتوافق فكرة جدار الحماية وميكانيكا الكم.

- هل تعني -أخيرًا- أنَّ جدران الثُّقب الأسود الموجودة على طول آفاق الحدث ستصبح جدرانًا نارية تحرق أيَّ مادة تدخل الثُّقب الأسود، وهذه الفكرة المخيفة لا تنتهك علم ميكانيكا الكم! وأننا قد استطعنا بشكل نهائيّ أنْ نعرف ما سيحدث عند دخولنا الثُّقب الأسود، وسيكون هنالك جدارٌ ناريٌّ على طول أفق الحدث للثُّقب الأسود يحرق كل شيءٍ يحاول الدخول للثُّقب الأسود، وهكذا إنْ اقتربت من أفق الحدث فإنني سأُشْوَى على الفور.

مشكلة تعدد الأزواج





حقوق الصورة للمُصمم جميس بروفوست

- نعم. لقد عرفَ العلماء وبعد صراعٍ طويل ماذا سيحصل إذا دخل شخصٌ ما إلى ثَقبٍ أسود، ولكن دعني أذكّرك بشيءٍ قد درسناه مسبقًا، -لسوء الحظ- في حين أنَّ جدار الحماية الذي يوافق -وأخيرًا- قواعدَ نظرية ميكانيكا الكم، فإنّه ينتهك للأسف قواعد نظرية أخرى في الفيزياء ألا وهي نظرية النسبيّة العامة لآينشتاين!
- أحقًّا ما تقوله! بعدَ كل هذا التصارع الطويل بين العلماء للوصول أخيرًا إلى نتيجةٍ وَفقًا لميكانيكا الكم، تكون هذه النتيجة تنتهك علمًا كبيرًا مثلَ نظرية النسبيّة العامة!
- نعم. هل نسيتَ كما درسنا مسبقًا أنه وَفقًا لما يقوله آينشتاين حسب نظرية النسبيّة العامة، يجب ألّا يُلاحظ رائد الفضاء أيّ شيءٍ غير عاديّ وهو يَعبُر أُفق الحدث؛ إلا عندما يصبح شكله كالمعكرونة إذ يتمدد جسمه كالمعكرونة من الجاذبية الشديدة الموجودة داخل الثَّقب الأسود، وسيدرك عندها أنه محاولة الهروب من الثَّقب الأسود لن تفيد، ولكن من ناحيةٍ أخرى، حسب علم ميكانيكا الكم، فإنه سيكون هنالك جدار حماية موجود بشكلٍ ملحوظٍ على حدود أفق الحدث، بحيث سنتمكّن من رؤية رائد الفضاء قد وصل إلى أفق الحدث للثَّقب الأسود، عندما نرى بأنه يُشْوَى ويُحمَّص.
- لكن، ما النظرية التي يجب أنْ نصدقها؟ فنحن نعلم أنَّ نظرية ميكانيكا الكم من أقوى نظريات الفيزياء، وأيضًا نظرية النسبيّة العامة قد تم إثبات صحتها بواسطة العديد من الأدلة.

إلى الآن لا يعلم العلماء ما الحل، وكيف نوفّق بين حل نظرية ميكانيكا الكم ونظرية النسبيّة العامة، وقد أثارت هذه المشكلة اهتمامًا جديدًا بالتفكير بوجود فيزياء غريبة لا نعرفها تتحكّم بأفق الحدث للثَّقب الأسود، فكما يقول العالم بولتشينسكي: «لا أرى إطارًا جيدًا لحلّ هذه المشكلة».

Complementarity

An astronut falling into a black hole croses the event horizon without incident, satisfying a prediction of general relativity. the astronut continues floating along until, approaching the black hole's center, he is spaghettified.

Firewall

A wall of radiation incinerates the unlucky astronut and blockes entry into the black hole. information is preserved in this scenario (you can theoretically piece together the astronut from his ashes), but general relativity is violated.

افق الحدث يمد الجسم كالمعكرونة

جدار ناري حارق

حقوق الصورة لموقع ScienceNews

قد تبدو هذه التجارب الفكرية ذات طابع خيالٍ علميّ! فالثقوب السوداء بعيدة جدًّا عنّا لنفكّر بماذا سيحصل لنا إنْ دخلناها! ولكن،

سبب اهتمام العلماء بمعرفة ماذا سيحصل لنا إنْ حاولنا دخولَ ثقبٍ أسود يتجاوز بكثيرٍ هذه الفكرة؛ إذ يبدو لعلماء الفيزياء أنَّ آفاق الحدث للثقوب السوداء هي أفضل مكانٍ موجود في الكون ليتمَّ اختبار دمج نظريتيْ النسبيّة العامة وميكانيكا الكم في **نظريةٍ موحّدة تُسمَّى بنظرية الجاذبية الكموميّة** (وهي النظرية التي نطمح إليها ويحلم كلُّ عالِمٍ فيزيائيّ نظري بالوصول إليها) فكما تقول العالِمة «جانا ليفين»، عالِمة الفيزياء الفلكية في كلية بارنارد بجامعة كولومبيا: «إنَّ الحدَّ الأخير لعلم الفيزياء هو نظرية الجاذبية الكمومية».

مما يعني إنْ وصلنا إلى نظرية الجاذبية الكمومية فإننا سنصل إلى نهاية الفيزياء، وأكبر شيءٍ في الفيزياء يمكننا اكتشافه.

وعلى سيرة نظرية الجاذبية الكمومية عند الحديث عن الثقوب السوداء، كما تقول ليفين: «إنه إذا كان الفيزيائيون يريدون أنْ يعرفوا ما حصل عند بداية الكون، فسيكون عليهم أنْ يفهموا كيف تصرّف الكون عندما كان صغيرًا وضخمًا بشكلٍ لا يُصدَّق، فهذه أفضل طريقة لمعرفة صياغة نظرية الجاذبية الكموميّة من خلال إزالة الغموض عن بيئةٍ أخرى ضخمةٍ ومضغوطةٍ: أيْ ثَقبٍ أسود».

ما تقصده أنَّ دراسة الثقوب السوداء الموجودة في كوننا ستساعدُنا على معرفة كيف نشأ الكون قديمًا (كونه حسب نظرية الانفجار العظيم، بدأ الكون بنقطةٍ متفردة وبدأتْ بالتوسع ليحدث انفجار عظيم ويتشكّل الكون)، وحل هذا سيكون عند معرفة صياغة نظرية الجاذبية الكموميّة عبرَ دراسة الثقوب السوداء الموجودة في كوننا.

مع وجود الكثير من المخاطر في محاولة حل هذه المعضلة التي سُمِّيَت **بمعضلة ضياع المعلومات**، خرجَ لنا العديد من علماء الفيزياء

البارزين بعدها ليلقوا بعض الأفكار المثيرة للاهتمام بمعضلة ضياع المعلومات.

إذ جادل هوكينغ بعدها بأنه إذا كانت آفاق الحدث تسمح أحيانًا للأشياء الموجودة داخل الثَّقب الأسود بالهروب، فلا داعي لوجود جدران الحماية.

وبذلك ظلَّ مُصرًّا على رأيه، حتى بعد هذه المشكلات، واحتلت تعليقات هوكينغ عناوين الأخبار -إذ تضمّنت كتاباتُه عبارةً مضللةً، على رأي بعض العلماء- وهي: «لا توجد ثقوبٌ سوداء، سوداء اللون».

وبقيَ العلماء بعدها ينتظرون أنْ ينشرَ هوكينغ أي ورقة شاملة تشرح حجّتَه والمنطق وراء هذه الجملة بعد الانتهاكات التي درسناها لهذه الجملة لعلم ميكانيكا الكم.

ليعود لنا العالِمان سوسكايند ومالداسينا، ليحاولا حلَّ معضلة ضياع المعلومات ومعالجة مشكلة جدار الحماية من خلال جمعه مع حل التشابك الكموميّ **بإدخال فكرة الثَّقب الدوديّ**، والثقوب الدودية -كما عرفنا في الفصل الخامس- هي اختصارات خلال الزمكان، مثل أنْ نقوم تقريبًا بعبور الجبل عبرَ نفقٍ خلاله بدلًا من التسلق فوقه؛ فما يقوله العالِمان لسوسكايند ومالداسينا، يتم توصيل كلّ زوجٍ من الجسيمات المتشابكة بواسطة ثَقبٍ دوديّ، مما يؤدي إلى تقصير المسافة بينهما بشكل كبير.

وبتطبيق هذا على آفاق الحدث للثقوب السوداء، يقول العالِمان: إنَّ جُزيئات إشعاع هوكينغ ستكون مرتبطة عبرَ ثَقبٍ دوديّ مع زوجها الذي تكوّن معها من الجُسيمات الافتراضية والموجود داخلَ الثَّقب الأسود، وهكذا يُلغي هذا الاقتراح الحاجةَ إلى وجود جدران الحماية من

خلال تحويل التشابك الكموميّ إلى اختصارٍ عبرَ الزمكان (ثَقبٍ دوديّ) بدلًا من الارتباط الغامض للمسافات الطويلة عبر التشابك الكمومي، وهكذا تُصبح الجُسيمات داخل أفق الحدث وخارجه مترابطة عبر الثَّقب الدودي بدلًا من التشابك الكمومي.

1916	1974-1976	Late 1990s	2004	2012	2014
Einstein's general theory of relativity lays a framework for existence of black holes, with massive gravity. Information stays safely locked inside.	Hawking shows that black holes evaporate over time. That means information inside disappears. Physicists are baffled.	Complementarity, proposed by physicist Leonard Susskind, temporarily solves the problem of information loss.	Hawking accepts Susskind and Juan Maldacena's assertion that black holes preserve information. General relativity and quantum mechanics are safe.	Polchinski *et al* say complementarity violates rules of quantum entanglement. Implication: a wall of fire at the event horizon.	Solutions put forth include fuzzy event horizons, a new take on complementarity and wormholes.

الخط الزمني لمفارقة المعلومات من موقع ScienceNews

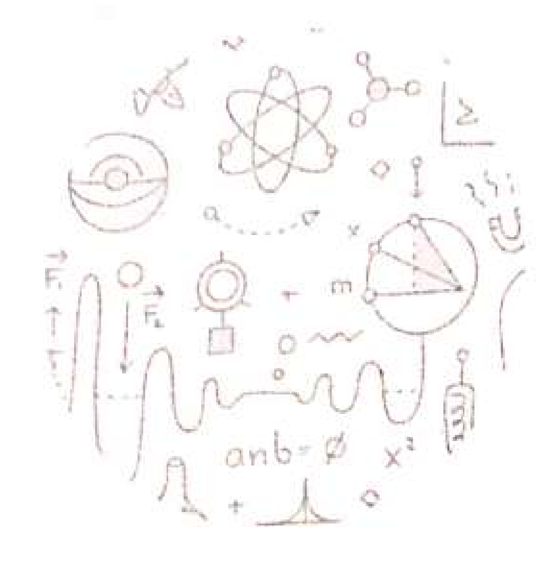
وهنا نذكر مقولة العالِم سوسكايند التي أحبها: «بصفتنا فيزيائيين، غالبًا ما نعتمد على حاسة الشمّ لدينا في الحكم على الأفكار العلمية، في البداية قد يكون (اقتراح الثَّقب الدوديّ) رائحته طازجة وحلوة، ولكن يجب أنْ ينضجَ على الرفّ لبعض الوقتِ»، ممّا يعني أنَّ العلماء يحتاجون إلى حلولٍ أخرى أو لإثبات فكرة الثَّقب الدوديّ لحلّ هذه المعضلة المُرهِقة والمُجهِدة للذهن.

المصادر:

- A Brief History of Time Book \ by Stephen Hawking
ScienceNews website.
- An Introduction to Black Holes, Information and the String Theory Revolution: The Holographic Universe Book \ by James Lindesay and Leonard Susskind.

CITATIONS:

- S.W. Hawking. Information preservation and weather forecasting for black holes. arXiv:1401.5761. January 22, 2014.
- A. Almheiri et al. Black holes: complementarity or firewalls? Journal of High Energy Physics. Vol. 2, February 2013, p. 062. doi: 10.1007/JHEP02(2013)062.
- S.W. Hawking. Breakdown of predictability in gravitational collapse. Physical Review D. Vol. 14, November 15, 1976, 2460. doi: 10.1103\ PhysRevD.14.2460.



الفصل التاسع

9

أشهر تسعة ألغاز فيزيائية لم تُحَل حتى الآن

"كل حل لمشكلة ما يثير مشكلة جديدة لا نعرف حلّها".

كارل بوبر (1902-1994)

منذ أنْ أدرك الإنسان أنَّ لديه عقلًا فذًا لم يستخدمه للتفكير في معدته فقط واللحاق بالغِزلان، وجد الكثيرَ من الألغاز التي تجاوزتْ إشعال النار بالحجارة، فهنالك العديد من الألغاز التي صارع الإنسان للوصول إليها ليجد إجاباتها وأخيرًا مثل: لماذا تسقط التفاحة على الأرض وليس للأعلى، وكيف تعمل العديد من الأجهزة، وكيف يدور القمر حول الأرض، ولماذا لون السماء أزرق وغيرها الكثير.

وقد أعلن عالِمُ الفيزياء الشهير «لورد كلفن» شيئًا صريحًا ومُهمًا سنة 1900م: «لن يكون هناك شيءٌ جديدٌ لنكتشفه في الفيزياء الآن، وكل ما تبقى يتعلق بإجراء قياسات أكثر دقة فقط»، أيْ أنه اعتقد أنَّ الفيزياء انتهت ولا يوجد شيءٌ جديدٌ لاكتشافه، ولكن إذا انتظرت لسنوات قليلة فقط لعرفتَ أنَّ هنالك نظريتيْن جديدتيْن وخارقتيْن ستقلبان الفيزياء رأسًا على عقب ويؤديان إلى ثورة علمية هائلة في عالم الفيزياء، وهما نظريتا **ميكانيكا الكم والنسبيّة لآينشتاين** -كما نعلم- إذ إنه بعد هاتيْن النظريتيْن لم يجرؤ أي عالِم فيزيائي على التأكيد بأنَّ معرفتنا الفيزيائية للكون مكتملة أو حتى قريبة من الاكتمال، وعلى العكس من ذلك، فإنَّ كل اكتشاف جديد يزيد من أسئلة الفيزياء لدينا ويصعب علينا الأمور.

إلى أنْ وصلنا إلى أبرز ألغاز فيزيائية حيَّرتْ العقول لمدة طويلة، استعد لأعظم تسعة ألغاز في الفيزياء لم تُحَل إلى الآن... الألغاز التي أفلتت من أبرز العقول التي عرَفها العالم على الإطلاق؛ إذ لم يستطع حلّها حتى أكبر علماء الفيزياء إلى يومنا هذا! ومَن يدري لعلَّك تُحلّها وتُبهِرنا!

1. ما الطاقة المظلمة والمادة المظلمة؟

أولًا، لنعلم ما الطاقة المظلمةُ، والمادة المظلمة علينا أنْ نبدأ في طرح السؤال المُهم: ما القُوى الخفية التي تحكُم العالمَ، بل الكون كلُّه؟ إنها قوى أربعة فقط (على ذمّة الفيزيائيين): وهي كالتالي: الجاذبية (التي تحافظ على دوران الكواكب حول النجوم، وهي مسؤولة عن تكوين النجوم والمجرات)، والقوة الكهرومغناطيسية (المسؤولة عن الضّوء والحرارة والكهرباء والمغناطيسية؛ وهي مسؤولة أيضًا عن تماسك الذرات معًا)، والقوة النووية الضعيفة (التي تعمل داخل النَّوى الذرية، وهي مسؤولة عن نوعٍ معين من الاضمحلال الإشعاعي)، والقوة النووية القوية (التي تربط البروتونات والنيوترونات معًا في النَّوى الذرية، لذا فهي مُهمة لاستقرار المادة).

الآن، ما المادة المظلمة والطاقة المظلمة؟

جميعنا يعلم أنَّ المادة العادية التي نراها كلّ يوم - هي التي تُمثل كلَّ شيءٍ في الكون، وتتكون بشكل أساسي من الذرات المُكوّنة من البروتونات موجبة الشحنة والإلكترونات سالبة الشحنة والنيوترونات متعادلة الشحنة.

ولكـن الآن سـنتعرف علـى أكثر لغزيْـن من ألغـاز الفيزيـاء وعلم الفلـك واللذيْـن حيَّـرَا علمـاء الفيزيـاء والفلك؛ وهمـا المـادة المظلمة والمـادة المضادة!

بدايـةً، «مُعظـم كوننـا مخفـي لا نسـتطيع أنْ نراه»، لكـن هل هذا معقول؟!

- إنَّ الكون بنجومه ومجراته وكل شيءٍ يمكنُنا رؤيته (مكوّن من ذرات)، يُمثل فقط 5 ٪ منه، وهنالك بما نسبتُه 95 ٪ من الكون لا نستطيع رؤيته ولا نعرف ماهيته ومِن ماذا يتكون!

قد يَصعُب عليك تقبُّل أننا لا نرى معظم الكون؟ هل هذا معقول؟! هل نحن نرى من الكون 5 ٪ فقط وباقي الـ 95 ٪ من الكون هو عبارة عن مادة وطاقة مظلمة لا نراهما ولا نستطيع أنْ نعرف ماهيتهما! ما هذه الأشياء الغامضة وغير المرئية التي تُحيط بنا، والتي يحدّثنا عنها العلماء؟ وما الفرق بين الطاقة المظلمة والمادة المظلمة؟ وكيف عرف العلماء بوجودهما؟

لنبدأ بالفرق بين المادة والطاقة المظلمة؟ باختصار، تُبطِئ المادة المظلمة توسُّع الكون، بينما تُسَرِّع الطاقة المظلمة من توسُّعه؛ إذ تعمل المادة المظلمة كقوة جَاذبة – يمكنني أنْ أشبهها كأنها نوعٌ من الأسمَنت الكونيّ الذي يربط كونَنا ببعضه بعضًا؛ وذلك لأن المادة المظلمة تتفاعل مع قوة الجاذبية، وهذه هي الطريقة التي تعرّف العلماء فيها على المادة المظلمة رغم أنها لا تتفاعل مع الضوء (مثل أي مادة في الكون تتكون من ذرات)؛ إذ إنها لا تعكس الضوء أو تمتصُّه أو تبْعثه لذلك سُمِّيت بالمادة المظلمة، ولكن استطاع العلماء معرفة وجودها من خلال قياس أثرها عند تفاعلها مع قوة الجاذبية؛ إذ إنها تُساعد على ترابط الكون بمكوناته، أما الطاقة المظلمة فهي بالعكس تُعتَبر قوةَ تنافرٍ تساعد على توسُّع الكون بسرعة هائلة، وهي ليست سرعة عادية، بل إنَّ سرعة تمدُّد الكون هي أسرع من سرعة الضوء! عدا عن هذا، فإنَّ الطاقة المظلمة هي **القوة الأكثر هيمنة في الكون**، وتُمثل ما يُقارب 68 ٪ من إجمالي الطاقة والكتلة في الكون كله، أما المادة المظلمة، فتشكِّل بما نسبته 27 ٪ من إجمالي الكتلة والطاقة في الكون، أما جميع المواد العادية

التي نراها ونتفاعل معها كل يوم فهي تُشكّل فقط بما نسبته 5 ٪، هل لك أنْ تتخيَّل ذلك؟

هنالك العديد من التجارب الضخمة لمحاولة معرفة ما هذه المادة والطاقة المظلمة التي تملأ الكون!

إذ يعتقد بعض الفيزيائيين النظريين أنَّ هناكَ عالمًا مظلمًا بالكامل من الجسيمات والقوى التي لم نكتشِفها بعد، في انتظار الاكتشاف بغض النظر عن الطاقة المظلمة والمادة المظلمة.

2. لماذا يتحرك سهمُ للزمن نحو المستقبل؟

لو لاحظنا لوَهلةٍ بأننا من بداية الفصل الأول ونحن نتحدث عن السفر عبرَ الزمن للمستقبل، بحيث أصبحنا نتعامل مع الزمن كما لو أنه خطٌّ مستقيمٌ باتجاهٍ معين مثل السّكك الحديدية؛ إذ يستطيع المرء أنْ يتجه فيه فقط باتجاهٍ واحد عبرَ الزمن وهو اتجاه المستقبل، وكل ما درسناه هو محاولة إبطاء الزمن أو إبطاء القطار كما في مثالنا بعامليْ السرعة والجاذبية فقط، وقد تعلّمنا بعدها عن آلاتٍ مختلفة للسفر عبرَ الزمن للماضي أيضًا.

إذن، المشكلة الأكبر هي.. لماذا دائمًا –في حياتنا الطبيعية– يسير الزمن نحو المستقبل وليس الماضي؟ لماذا دائمًا يزيد الوقت ولا يعود للماضي؟ - كما في أغنية مسلسل صانعو التاريخ «أحلم لو أرجع للماضي لأرى كيف يعيش الناس».

لماذا نحن نكبر ولا نعود صغارًا، والأشجار تصبح أطول وتنمو ومن غير الممكن أنْ تعود لبذرتها! لماذا يسير الزمن في اتجاه واحد نحو المستقبل؟

مثلًا، لو أنت شاهدتَ فيلمًا معينًا يبدأ من الساعة 8:00 مساءً وينتهي عند الساعة 10:00 مساءً، أيْ أنَّ مدته ساعتان كما هو واضح، ولكن لماذا لا ينتهي الفيلم الساعة 6:00 مساءً بعد أنْ بدأ الساعة 8:00 مساءً؟ لماذا دائمًا يسير خط الزمن نحو المستقبل؟

لماذا عندما أرمي بكأسٍ زجاجية على الأرض فإنها تنكسر ولا تعود كما كانت؟ -في هذا المثال ربما تأتي والدتك لتكسر رأسك قبل انكسار الكأس، انتبه قبل التجربة-.

هل يمكن أنْ تتم عملية الكسر للكأس يومًا قبل عملية رميها؟ -الأم ربما تفعلها- لماذا دائمًا أيضًا يأتي المُسبب ثم النتيجة وليس العكس؟ وغير هذا الكثير، لماذا نتذكّر الأحداث في عقولنا التي حدثت في الماضي ولا نتذكر المستقبل؟

السببُ لهذه الأسئلة هو أنه ممنوع بحسب قانون أساسيّ في الفيزياء يُدعَى **بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية.**

ولهذا القانون اسمٌ جميلٌ يُدعَى بقانون **الإنتروبيا Entropy**، دعونا نعود لما درسناه مُسبقًا ونتذكّر مع بعضنا بعضًا هذا القانون الذي درسناه في الفصل الثامن من الكتاب، مع بعض الإضافات التي ستساعدنا على فَهم علاقة قانون الإنتروبيا بمنع الزمن من الحركة نحو الماضي وجعله دائمًا يتحرك نحو المستقبل.

أوّل شيءٍ أريد منكم معرفتَه هو أنَّ هذا القانون مُهم جدًّا في الفيزياء وأخرجَ لنا هذا القانون نظريةً خرافية مجنونة جدًّا **تُدعَى بنظرية الفَوضى Chaos Theory سنتحدَّث** عنها لاحقًا في هذا الفصل.

نعود لما بدأنا، فالقانون الثاني للديناميكا الحرارية والذي يُدعَى بقانون الإنتروبيا هو قانون أخبرَنا به العالِم «بولتزمان» في القرن التاسع

عشر، فقد استنتجَ العالِم الفيزيائيّ النمساويّ «لودفيك بولتزمان» بعد العديد من الأبحاث والسنوات معادلةً أنيقة وهي صيغة رياضية لمفهوم قوي يُدعَى الإنتروبيا، كلمة إنتروبيا أصلها يونانيّ وتعني التحوّل، والإنتروبيا **هي قياسٌ للفوضى أو العشوائية في نظامٍ ما** ولكن ماذا يعني ذلك؟

ما قاله العالِم: «كل شيءٍ يحدث في هذا الكون يبدأ من حالة النظام ويدخل إلى حالة الفوضى» ولكن ماذا يعني هذا؟ استنتجَ بولتزمان هذه الصيغة لأنه لاحظ أنَّ كل شيءٍ في الطبيعة تتحول حالته من حالة النظام إلى حالة الفوضى مع مرور الزمن.

يقول بولتزمان انظر مثلًا إلى حالة الكأس، فهي كانت كأسًا سليمة وفي حالة نظام.. وعندما كسرتَها فقد دخلتْ في حالة الفوضى وكونه دائمًا كل شيءٍ يحدث في الكون يبدأ من حالة نظام ويدخل في حالة فوضى، إذن الكأس السليمة ستكون في زمن الماضي أما المكسورة ستكون في زمن المستقبل وليس العكس.

بما يعني عند رمي الكأس السليمة تنكسر، لأنه وبحسب المبدأ الفيزيائي دائمًا في أيّ نظامٍ يبدأ من حالة النظام ويدخل في حالة الفوضى، ومن المستحيل أنْ تبدأ الكأس في حالة فوضى وتدخل في نظام، أي تعود مرة واحدة وتقفز إلى الطاولة وتعود وكأنها لم تُكْسَر (هذا لا يحدث إلا في أفلام الخيال العلمي!).

وليس هذا فقط، بل تأمَّلْ الحياة حولك، كل شيءٍ يسير من النظام إلى الفوضى، رتِّبْ غرفتك وانتظر -أعلم أنه أصعب من حَمْلِ جبلٍ كبير لكنها الفيزياء تريدُنا أنْ نتخيَّل- مع مرور الوقت ستبدأ الفوضى بالزيادة في غرفتك، -شيءٌ مؤكد- أو اغسل سيارتك وسترى بعدها كيف ستتسخ من

الخارج والداخل، رَتِّبْ شعرك الأنيق، سيزداد فوضى مع الزمن، اشترِ صندوقَ برتقالٍ سيتعفّن مع مرور الوقت، بشكلٍ عام «تتجه الأمور دائمًا من النظام إلى الفوضى» هذا هو القانون الثاني للديناميكا الحرارية، أو بكلمات العالِم «مورفي» (تتجه الأمور من سيئ إلى أسوأ دائمًا)، والإنتروبيا كما قُلنا هي كمية تقيس درجة الفوضى في نظامٍ معيّن.

ولكن انتظر! هل معنى أنَّ الكون دائمًا يزيد في كمية الفوضى؟ هل هذا يعني أنه في بداية نشأته كان في أقصى نظامٍ قد يمُر على الكون وبعدها بدأ يزيد في حالة الفوضى ونحن الآن في أقصى حالة فوضى للكون منذ نشأته؟

كون نظرية الانفجار العظيم إحدى النظريات المشهورة في تفسير نشأة الكون حسبَ معادلات آينشتاين في النسبيّة العامة التي تحدثنا عنها في الفصل الماضي (نظرية الانفجار العظيم التي تقول بأنَّ الكون بدأ من نقطةٍ صفرية الأبعاد بحجم صفرٍ وهذه النقطة هي ليست كأيّ نقطةٍ تراها في حياتك، فمع أنها نقطة إلا أنها لا نهائية الكتلة والكثافة، ثم بدأت هذه النقطة بالتمدد ومع الكثير من العمليات الأخرى -التي لن أستطيع التحدث عنها الآن حتى لا تختلط عليك الأمور-، إلى أنْ تكوّن كوننًا بالشكل الذي نراه الآن)، هذا يعني حسب قانون الإنتروبيا بأنَّ هذه النقطة التي بدأ منها الكون هي أكثر نقطة تحتوي على نظامٍ في تاريخ كوننا كله، وعند توسُّع هذه النقطة بدأت الفوضى بالزيادة إلى أنْ وصلت إلى مرحلة عالية من الفوضى في زمننا هذا؛ إذ إنه مع توسُّع النقطة بدأ الزمن من الصفر وأصبح يزيد وأيضًا مع زيادة الزمن ومروره تزداد الفوضى أيضًا، وهكذا نستنتج أنَّ سهمَ الزمن يعتمد على سهم الإنتروبيا وسهم تمدُّد الكون، بحيث يأخُذ اتجاههما نفسه في الزيادة.

ولكن، لا أحد يعرف لماذا يتجه سهم الزمن بزيادة إلى زمن المستقبل بنفس اتجاه سهم الإنتروبيا وسهم تمدد الكون؟

فكرة سهم الزمن طويلة جدًا، وهناك سهمٌ آخر يعتمد عليه سهم الزمن لتفسير حركته نحو الأمام، ولكنني شرحت فكرة الإنتروبيا وسهم تمدُّد الكون لأنها من المواضيع البسيطة التي يجب أنْ يعرفها كل شخص محبٌ للعلم وتفسيراته وأيضًا لعقله وليس فقط معدته.

3. المادة العادية والمادة المضادة؟

اللغز الآخر الذي ما زال يُحيِّر العلماء هو المادة المضادة، أو ما يُسمَّى (Antimatter) هذه المادة التي تحيط بتفسيرها هالةٌ من الغموض؛ المادة المضادة تُعَد من أخطر المواد على الكون، -فمثلًا- إذا صافحتَ شخصًا معينًا يتكون من مادة مضادة ستكون النتيجة كارثية إذ ستَخرُج طاقة هائلة ناتجة عن اتحاد المادة مع المادة المضادة ليفنوا ويُبيدوا بعضهم بعضًا، ولكن ما هذه المادة المضادة؟ هي المادة نفسها التي نعرفُها في كوننا تمامًا ولكنها مُعاكسة لها في الشحنة فقط، -فمثلًا- مضاد الإلكترون هو البوزترونPositron وهو إلكترون يحمل شحنة موجبة فقط، ومضاد البروتون هو البروتون صاحب الشحنة السالبة Anti-Proton.

بحيث تم اكتشاف المادة المضادة خلال عمليات الاضمحلال النوويّ وتم رصد البوزترون حينها عند اضمحلال الأنوية وإطلاق جسيمات بيتا؛ المُهم إنَّ من أشهر خصائصِها هي قدرتُها على تدمير المادة العادية في طرفة عينٍ، إذا قابلَـتْها واتّحدَت معها كما ذكرنا؛ سيتحول اتحاد المادة والمادة المضادة إلى انفجارٍ كبير يظهر على شكل طاقة هائلة.

ولكن الغريب جدًا حسبَ ما يقوله العلماء، إنه في بداية نشأة الكون كانت كمية المادة والمادة المضادة **متساوية** ولكن لماذا في الوقت الحاليّ يوجد تناقض واضح بين نسبة هاتيْن المادتيْن؟ إذ تكاد تكون **نسبة المادة المضادة في الكون الحاليّ معدومة**! ولا يتم صنعها إلا في المختبرات بمعايير وظروف هائلة وغير عادية! إذ يُعتبر لغز اختفائها وعدم ظهورها في الكون الحاليّ كما كانت نسبتُها في بداية نشأة الكون مصدرَ قلقٍ للعلماء!

تبقى هذه تساؤلات إذا ما تمّت الإجابة عنها فستفتح آفاقًا جديدةً في علم الفلك وتعطي ضوءًا أخضر لتفسير الكون بطريقة فريدة وأكثر دقة.

4. الظواهر الغريبة في ميكانيكا الكم:

كما نعلم فقد تحدثنا في ميكانيكا الكم وصدماتها اللامنطقية في واقعنا والتي تحتاج إلى حلّ (وأكبرها مشكلة القياس).

5. توحيد ميكانيكا الكمّ مع نظرية النسبيّة العامة:

لقد وصلنا حديثًا إلى نقطة غير عادية في تاريخ العلم، إذ يعتقد بعضُ الفيزيائيين أنهم الآن على وشك أنْ يكون لديهم نظرية واحدة ستوحد كل العلم تحت مظلة رياضية واحدة، وستوحّد هذه النظرية النظريتيْن العظيمتيْن **لفيزياء القرن العشرين**، التي كنّا نتحدث عنهما طوال الفصول الماضية -**نظرية النسبيّة العامة ونظرية ميكانيكا الكم**-، فنظرًا لأن النسبيّة العامة تصف الأجسام ضمن المقياس الكبير، أما نظرية ميكانيكا الكم فتصف الجسيمات دون الذرية، فإنّ توحيد هذه النظريات سيفسر كلًا من الأجسام الكبيرة جدًّا والصغيرة جدًا، غالبًا ما يُشار إلى هذه النظرية باسم «**نظرية كل شيء**».

وليس هذا فقط، فعلى وجه الخصوص، ستوحّد نظرية كل شيء فَهْمَنا لجميع القُوى الفيزيائية الأساسية التي تتحكّم في كونِنا، فهناك أربع قُوى كما عرفنا مسبقًا يعرفها الفيزيائيون: **الجاذبية** (التي تحافظ على دوران الكواكب حول النجوم، وهي مسؤولة عن تكوين النجوم والمجرات)، **والقوة الكهرومغناطيسية** (المسؤولة عن الضوء والحرارة والكهرباء والمغناطيسيّة؛ وهي مسؤولة أيضًا عن تماسك الذرات معًا)، **والقوة النووية الضعيفة** (التي تعمل داخل النَّوى الذرية، وهي مسؤولة عن نوعٍ معين من الاضمحلال الإشعاعي)، **والقوة النووية القوية** (التي تربط البروتونات والنيوترونات معًا في النَّوى الذرية، لذا فهي مُهمة لاستقرار المادة)، في الوقت الحاليّ لدى الفيزيائيين نظريات منفصلة لكلٍّ من هذه القُوى على حدة، لكنهم يرغبون في نظرية واحدة موحّدة للأربع قوى لتوحيدهم، لقد تحقق هذا الهدف جُزئيًا من خلال أنَّ لديهم الآن نظرية توحِّد اثنتيْن من هذه القُوى -**القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة**- لكنّ توحيد كل القُوى الأربعة صعبٌ للغاية للآن، ومع ذلك فإنَّ معظم علماء الفيزياء واثقون من أنَّ هذا الهدف سيتحقق في العقود القليلة القادمة.

عالِم الفيزياء النظرية، ستيفن واينبرغ، الذي لعب دورًا رئيسًا في **توحيد القوتين -القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة-** (والذي حصل من ذلك على جائزة نوبل، جنبًا إلى جنب مع زملائه عبد السلام وشيلدون جلاشو)، أُطلقَ على نظرية توحيد القوى الأربعة -**النظرية النهائية The Final Theory** - وقال بأنه عندما يصل الفيزيائيون إلى هذه النظرية ليتمكّنوا من توحيد القوى فإنَّ الفيزياء ستكون قد حققت نهايتها بفعالية، ولا مزيد من العلم لاكتشافه بعدها في مجال الفيزياء.

بدأ آينشتاين في البحث عن نظرية موحّدة في عشرينيات القرن الماضي، وَفقًا لجمعية الفيزياء الأمريكية (APS)، فهو لم يقبل مُطلقًا بالمفارقات الغريبة والمجنونة لميكانيكا الكم؛ إذ جعله يبحث عن هذه النظرية أنه كان يعتقد أنَّ الرياضيات التي تصف القوى الأربعة، يُمكن دمجُها في إطارٍ واحد.

لكن سعى آينشتاين خلال حياته أنْ يُثبتَ أنها نظرية خيالية ومن المستحيل الوصول إليها، بينما كان على فراش الموت، كتب رسالةً طلبَ فيها الحصولَ على ملاحظاته الأخيرة حول النظرية.

لكنّ هنالك علماء آخرين يعتبرون فكرة نظرية كل شيء طريقًا فكريًّا مسدودًا، كما انتشر عن عالِم الفيزياء النظرية بجامعة كولومبيا بيتر وويت بأنه وبَّخ زملاءه مرارًا وتكرارًا لمطاردة ما يعتبره حُلمًا وهميًّا.

فكما يقول بعض العلماء مع التقدم والتطور أنه يظهر لبعضهم بعدم مقدرتنا إلى الوصول إلى نظرية كل شيء، فكما كتب العالم وويت Woit في مدوَّنته: «المشكلة الأساسية في أبحاث نظرية كل شيء، ليست أنَّ التقدم كان بطيئًا على مدار الثلاثين عامًا الماضية، بل كان سلبيًّا؛ إذ أظهرَ كل شيء تمّ تعلُّمه بطريقةٍ أوضح سببَ عدم نجاح فكرة الوصول إلى نظرية كل شيء».

ناقش الفيزيائيّ ستيفن هوكينغ الراحل في كتابه الأكثر مبيعًا «تاريخ موجز للوقت» رغبتَه في المساعدة في الوصول إلى نظرية لكل شيء (والتي كانت أيضًا عنوان فيلمه الخاص الذي يتحدث عن سيرته الذاتية الذي نُشِر عام 2014)، لكنّ العالم الشهير غيّر رأيه فيما بعد في حياته، كان يعتقد أنَّ مثل هذه النظرية ستكون بعيدة المنال إلى الأبد لأن الأوصاف البشرية للواقع دائمًا ما تكون غير مكتملة.

لكن هذه الحقيقة لم تحزنه بل أعطته الأمل، وقال هوكينغ: «أنا سعيدٌ الآن، لأن بحثنا عن هذه النظرية لن ينتهي أبدًا وأننا سنواجه دائمًا تحدي الاكتشافات الجديدة «فلو وصلناها يومًا، ستُصاب الفيزياء بالركود وتنتهي»».

لكن حتى الآن، لا أحد يعلم إنْ كنّا سنصل إلى هذه النظرية أم لا.

6. ما مصير الكون؟

نحن نعلم الآن كما أخبرنا العالِم «هابل» بأنَّ الكون يتوسع بسرعة هائلة جدًّا قد تمَّ قياسها لتصل إلى سرعة أسرع من سرعة الضوء، وظهرت عندها نظرية الانفجار العظيم التي تقول بأنَّ الكون بدأ من نقطة تمتلك كثافة لا نهائية تمددت سريعًا جدًّا فجأة ومع العديد من العمليات نشأ الكون الذي نراه الآن، لكن ما زال الكون منذ نشأته إلى الآن يتمدد وبسرعة عالية جدًّا وأُثبِتَ ذلك باستخدام العديد من الطرق، المُهم أنَّ علماء الفلك يحاولون إلى الآن دراسة هذا التوسُّع للتنبؤ بكيف سينتهي الكون ويموت.

لغز كيفية نهاية الكون، قد لا يبقيك مستيقظًا في الليل، لكنه بالتأكيد سيكون مصدرَ قلقٍ للكائنات الحية في المستقبل البعيد، من المتوقع أنْ يحدث هذا الحدث الملحميّ -موت الكون- بعد 10 مليارات سنة تقريبًا، هناك العديد من النظريات التي تحاول الوصول إلى إجابة عن كيفية موت الكون، أبرزُها «الانكماش العظيم» و «التمزُّق العظيم» أو «التجمُّد العظيم»، ولا يبدو -بالطبع- أيٌّ من هذه النتائج ممتعة للغاية، **الانكماش العظيم** هو عكس الانفجار العظيم - ستتوقف جميع أجزاء المادة في الكون عن التسارع بعيدًا عن بعضها بعضًا وستبدأ في التسارع تجاه بعضها بعضًا، يترتب على ذلك تصادم كبير لجميع المواد

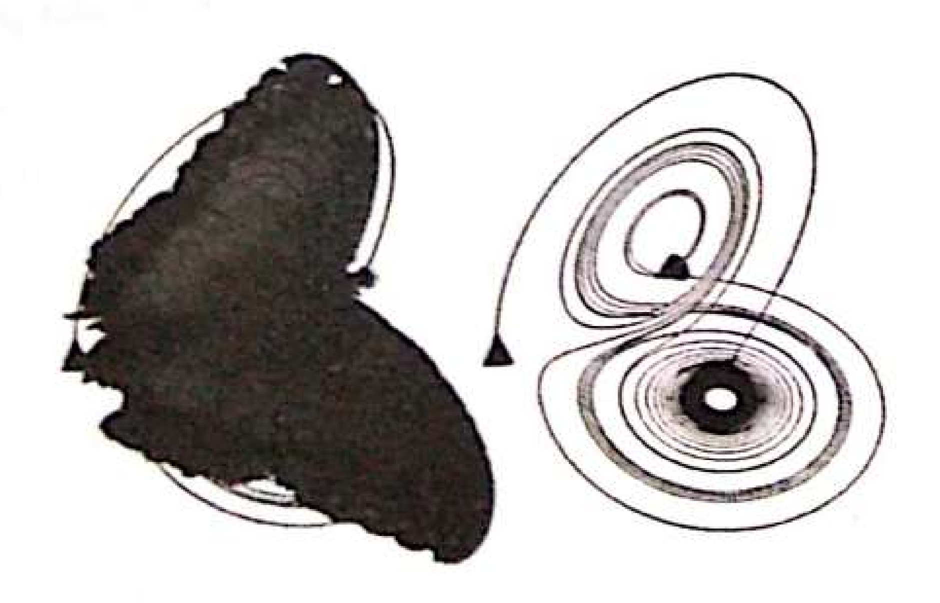
الموجودة في الكون (ومن غير المرجح أنْ تنجو البشرية من ذلك)، أما **التمزُّق العظيم** هو الذي يحدث عندما تستمر جميع أجزاء المادة في الكون في التسارع بعيدًا عن بعضها بعضًا كما ذكرنا بسبب الطاقة المظلمة التي تتابع تسارُعها في تمدُّد الكون بشكلٍ أسرع وأسرع حتى يتحرك الزمكان في نهاية المطاف بسرعة كبيرة لدرجة أنه يمزِّق الذرات عن بعضها (من غير المرجح أيضًا أنْ تنجو البشرية من هذا التمدُّد) لا تخف سيحدث هذا بعد سنواتٍ طويلة ولن تكون هنا لتشهد ذلك، أما في سيناريو **التجمُّد العظيم**، ستظل المادة محتفظة بكيانها ولن تتمزَّق، لكنها ستتحلل ببطءٍ إلى إشعاعٍ في أثناء تمدُّد الكون؛ إذ إنَّ الكون في الوقت الراهن ليس متجانسًا، إنما هو مزركش بتكتّلاتٍ متناثرة من المادة والطاقة في هيئة مجرات ونجوم وثقوب سوداء، لكن التمدُّد سيشدُّ جميع الأشياء حتى تُصبح موزّعةً بانتظام في فضاء الكون، عندما يحدث هذا ربما ستكتسب أو تفقد الأجسام طاقةً؛ إذ إنه سوف تتبدد سحابات الغاز والغبار التي تساعد على تكوّن النجوم؛ وهكذا لن تتكوّن نجوم جديدة، وستتبخّر الثقوب السوداء، حتى جسيمات الضوء ستضيع سدًى في نهاية الأمر. وسيتجمد الكون، فإنَّ سيناريو التجمُّد الكبير، بناءً على ما نعرف من الفيزياء، هو السيناريو الأقرب للحدوث، ولا نعرف حتى الآن ما هو السيناريو الصحيح لموت الكون، أو إنْ كانت هنالك سيناريوهات أخرى لذلك.

7. هل يوجد ترتيب في الفوضى؟

لا يستطيع الفيزيائيون حتى الآن حلَّ مجموعة المعادلات التي تصف سلوكَ الموائِع[1] تمامًا بشكلٍ دقيق، وهذا يُصعِّب علينا التنبؤ بحالة الطقس بشكلٍ كبير.

في الواقع، لم يُؤَكَّد الوصول إلى أي حلٍّ حتميّ يصف سلوكَ الموائع في كل مكان، نتيجة لذلك يتساءل الفيزيائيون والرياضيون هل من الصعب التنبؤ بالطقس! أم أنه بطبيعته لا يُمكن التنبؤ به؟ هل يُمكن أن يُولِّد أيُّ اضطرابٍ صغيرٍ في مائع المعين اختلافًا كبيرًا بسلوكه!

خلال الاجتماع الـ 139 للجمعية الأمريكية للتقدُّم العلمي، طرحَ العالِم إدوارد لورينز تساؤلًا: «هل يُمكن لرفرفة أجنحة فراشة موجودة في البرازيل أنْ تتسبب بوقوع إعصارٍ في تكساس؟» هذا المفهوم تُبُنِّيَ تحت اسم تأثير أو أثر الفراشة، وهو يُشير إلى أهمية الحوادث الصغيرة في التأثير على الكون الكبير. في حين أنَّ بإمكان جناحيْ الفراشة فِعل بعض الأمور المُدهشة، هل لديهما القدرة على المساهمة في تغيير حالة الطقس؟



(1) الموائع: هي الماء إلى الهواء إلى جميع السوائل والغازات الأخرى.

هذا ما تقوله نظرية الفوضى أنه يُمكن للحوادث الصغيرة أنْ تتجمّع لتساهم في إحداث تغييرٍ كبير.

حسنًا، علينا أنْ نعرف أولًا أنَّ هذه الفكرة التي طرحها العالم لورينز أصبحتْ منهجًا أساسيًّا وفرعًا في علم الرياضيات، وتَحْمِل اسم نظرية الفوضى Chaos Theory؛ أيْ أنَّ «أثرَ الفراشة» مجرد تعبير مجازيّ لنظرية الفوضى في الرياضيات.

وأوَّل شيءٍ يجب فَهمه هو أنَّ نظرية الفوضى هي علم المفاجآت غير المتوقعة وأنها تُعلّمنا أنْ نتوقع ما هو غير متوقع، على سبيل المثال: تتعامل نظرية الفوضى مع الأشياء التي يَصعُب التنبؤ بها، مثل اضطرابات الطقس وسوق الأوراق المالية والدماغ البشري؛ إذ تُوصَف هذه الظواهر بالرياضيات التي تُظهِر لنا التعقيد اللانهائيّ للطبيعة. فهل حقًّا من الصعب التنبؤ بالطقس! أم أنه بطبيعته لا يمكن التنبؤ به تنبؤًا دقيقًا؟ وقِس عليها العديد من الأمثلة التي تضمّنتها نظرية الفوضى التي يتسابق الكثير من علماء الفيزياء على حلها!

8. هل نظرية الأوتار صحيحة؟

افترضَ الفيزيائيون أنَّ جميع الجسيمات الأولية في الواقع **هي عبارة عن حلقات أحادية البُعد**، أو عبارة عن «**أوتار**» كلٌّ منها يهتزّ بتردد مختلف، وكل تردد معين يكوّن **جُسيمًا أوليًّا** معينًا، حيث تسمح نظرية الأوتار للفيزيائيين بالتوفيق بين القوانين التي تحكم الجسيمات دون الذرية (ميكانيكا الكم)، وبين والقوانين التي تحكم الأجسام الكبيرة (النسبية العامة)، وتوحيد القُوى الأساسية الأربعة للطبيعة في إطارٍ واحد، لكن المشكلة هي أنَّ نظرية الأوتار لا يُمكن أنْ تَعمل إلا في كون ذي 11 بُعدًا: ثلاثة أبعادٍ مكانية هي الطول والعرض والارتفاع،

وبُعد الزمن، وسبعة أبعادٍ مكانية مضغوطة. إذ إنَّ هذه الأبعاد المكانية المضغوطة -وكذلك الأوتار المهتزة نفسها- تمتلك حجمَ جزءٍ من المليار من تريليون من حجم نواة الذرة تقريبًا، أعلم أنك لم تدرك الرقم ولا حتى أنا، هي صغيرة جدًّا لدرجة أنها لا توجد طريقة يمكن تصورها لاكتشاف أيّ شيءٍ بهذا الحجم الصغير، لذا لا توجد طريقة معروفة للتحقق من صحة نظرية الأوتار أو إبطالها من الناحية التجريبية، وقد اقترحَ العلماء طُرقًا مستحيلة وصعبة للتنبؤ بصحتها.. لذلك يَعمل الكثير من الفيزيائيين لإثبات هذه النظرية، ساعين بعدّة طرق لذلك!

9. لماذا لا يمكننا كبشرٍ التخيُّل بأربعة أبعاد؟

نحن البشر لا نستطيع سوى أنْ نرى ثلاثة أبعاد كما تحدثنا في الفصل الأول -وهم الطول والعرض والارتفاع- ولكننا نكافح من أجل تصوُّر عالم بأربعة أبعاد كما بُعد الزمن، عدا عن أنَّ نظرية الأوتار تقترح وجودَ 11 بُعدًا حولنا. وإذا تبيّن أنَّ نظرية الأوتار صحيحة، فسيتعيّن علينا معرفة كيف أنَّ هناك سبعةَ أبعادٍ مفقودة متشابكة موجودة في واقعنا ولا نستطيع أنْ نراها.

مَهما واجه العلماء من مشكلات في حل هذه المعضلات الفيزيائية، فسيكون عليهم دائمًا تقبُّل ظهور معضلات جديدة في مجالات الفيزياء المختلفة بصدر رَحب، وتقبُّل ما تخبئه لنا الطبيعة من قوانين جديدة، فكما يقول العالم ريتشارد فاينمان (عالمي المفضل) في إحدى المقولات التي أعجبتني له: «يجب ألا نقول للطبيعة ما يجب أنْ تكون عليه... فهي دائمًا لديها خيالٌ أفضل منا».

المصادر:

- EdxCourses \ GreatestUnsolvedMysteriesoftheUniverse.

  LiveScience Website.
- Chaos: Making a New Science Book \ by James Gleick.
- String Theory documentations for Brian Green.



10

الفصل العاشر

مقدمة إلى الجُسيمات دون الذرية

"هدف فيزياء الجسيمات دون الذريّة هو فهم مكونات كل شيء في الكون بكل ما أعنيه، أنا وأنت والأرض والشمس و100 مليار نجم في مجرتنا و100 مليار مجرة في الكون المرئي وكل شيء على الإطلاق".

براين كوكس

إذن، تحدثنا سابقًا عن أساسيات في نظرية ميكانيكا الكم وخُضنا في مشكلاتها وحلولها. أما بقيّة الحديث الآن ستكون عن أبطال هذا العالَم الذين يقومون بكل هذه الأدوار العجيبة التي تدرسها ميكانيكا الكم لتصدمنا هذه النظرية بما تجده من تصرفات لهؤلاء الأبطال، وأبطالنا هم **الجُسيمات دون الذرية**، وهذه الجسيمات منها ما ثبت وجودها بالتجربة العملية وبعضها لا يزال العلماء حتى الآن في طور البحث عنها.

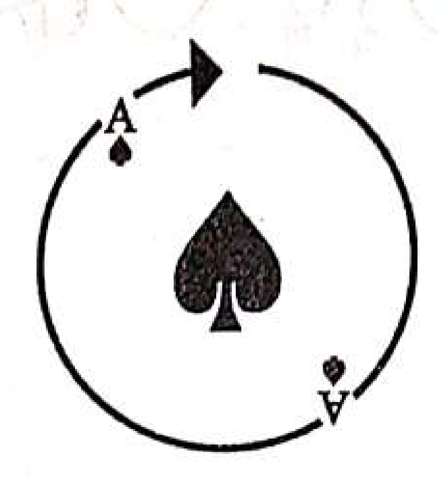
تُقسم الجسيمات دون الذرية إلى قسميْن رئيسيْن هما:

1. بُوزونات.Bosons
2. فِرميونات Fermions.

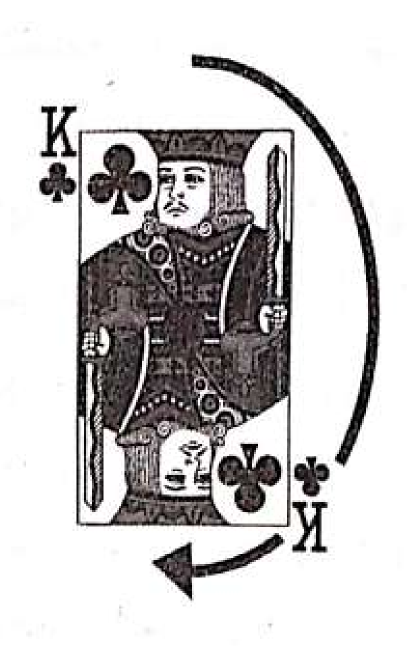
قُسِّمت هذه الجسيمات دون الذرية بشكل أساسي اعتمادًا على عزمها الحركيّ المغزلي (spin)؛ إذ يكون العزم المغزليّ **للبوزونات** -مثلًا- عددًا صحيحًا كصِفر وواحد (ونظريًا: اثنان، ثلاثة، وهكذا) وأما **الفِرميونات** فلها عزم بنصف قيمة العدد الصحيح (1,5 و0,5 وهكذا)، ولكن لو سألت نفسك ما العزم المغزلي؟

العزم المغزلي هو الذي يصف كيف يبدو الجسيم من الاتجاهات المختلفة.

فالجسيم الذي يكون العزم المغزلي له **يساوي صفرًا** يشبه النقطة، فهو يكون متماثلًا من جميع الاتجاهات أما الجسيم الذي يكون العزم المغزلي له **يساوي 1** يشبه السهم، فهو يبدو مختلفًا من الاتجاهات المختلفة ولا يبدو هذا الجسيم متماثلًا إلا إذا لفّه المرء ليدور دورة كاملة (360 درجة)، كهذه الصورة:



أما الجسيم الذي يكون العزم المغزلي له **يساوي 2** يشبه سهمًا ذا رأسيْن؛ فهو يبدو متماثلًا لو تمّ لفّه ليدور نصف دورة (180 درجة)، كما في الصورة:



أما بالنسبة إلى الجسيمات التي يكون لها اللف المغزلي **يساوي**، لا تبدو متماثلة إذا تم لفها لتدور دورة واحدة فحسب، بل تحتاج إلى أنْ تلفها لتدور دورتيْن كاملتيْن! وقِس ذلك على الجسيمات ذات اللف المغزلي بقيمة كسور.

وهكذا يمكننا الآن أنْ نفهم فكرة أنَّ البوزونات يكون العزم المغزلي لها أعدادًا صحيحة أما الفرميونات فيكون العزم المغزلي لها أعدادًا كسريّة نصف صحيحة، وهذا ليس الفرق الوحيد بينهما، بحيث إنَّ

الفِرميونات مسؤولة عن صُنع المادة في الكون، أما البوزونات تنشأ عنها القوى التي بين جسيمات المادة؛ ولنفهم هذا بالتفصيل دعونا نبحر الآن في بحر علم الجسيمات الأولية.

البوزونات (Bosons)

هي البوزونات الأوّلية المسؤولة عن حَمل القوة (كما في القُوى الأربعة التي ذكرناها سابقًا في جزء الطاقة المظلمة والمادة المظلمة). والبوزونات المعروفة حتى الآن هي:

1. جلوونات: وهو البوزون الذي **يحمل القوة القويّة.**
2. البوزونات الضعيفة "Z" و "W" وهما البوزونان المسؤولان عن **حمل القوّة الضعيفة.**
3. الفوتونات: الفوتون هو صديقنا الشهير الذي يحمل **القوّة الكهرومغناطيسيّة** (كالضوء والأشعّة وأمواج الرّاديو، إلخ).
4. بوزونات هيغز: وهذه البوزونات تظهر عند تنشيط ما يُسمَّى بحقل «هيغز» (نسبة إلى اسم العالِم البريطاني «بيتر هيغز» الذي تنبأ بظهوره كجسيم **مسؤول عن إعطاء المادة كُتلتها)** وقد استطاع مصادم الهادرون الكبير أن يُنشّط حقل هيغز قبل بضع سنوات ليتوصل إلى اكتشاف هذا البوزون.

الفِرميونات: (Fermions)

يعتقد الفيزيائيون حاليًا أنَّ المادة مكونة من 12 جسيمًا أوليًا، هي الكواركات Quarks والليبتونات Leptons، وتمت تسميتهم بجسيمات أولية لأنه لا يمكن تقسيمهم إلى جسيمات أصغر. وتتفاعل الكواركات واللبتونات حسب القوى الأربعة التي درسناهم سابقًا.

وكما ذكرنا مسبقًا، تختلف الفرميونات عن البوزونات أنَّ الفرميونات لها نصف قيمة العزم المغزليّ للبوزونات والتي تكون من عدد صحيح. وتشمل هذه الفِرميونات عائلتيْن كما ذكرنا هما «الكواركات» (Quarks) و«الليبتونات» (Leptons).

للكواركات ستّ «نكهات» (Flavors) على شكل أزواج هي:

1. الكوراكَين السفلي والعلوي.

فالبروتون يتكون بشكل أساسي من ثلاثة كواركات (كواركيْن علويين وكوارك واحد سفلي)، في حين أنَّ النيوترون يتكون بشكل أساسي من ثلاثة كواركات (كواركيْن سفليين وكوارك علوي)؛ إذ إنَّ التركيبة المكونة من كوارِكين «سفليين» وكوارك «علوي» تعطينا «البروتون»، في حين تركيبة كوارِكين «علويين» وكوارك «سفلي "تعطينا" النيوترون»، وتُسمَّى هاتان التركيبتان الثلاثيتان «باريونات» .(Baryons)

هذان الكواركان (أقصد العلوي والسفلي) يعتبران أثقل الجسيمات دون الذرية، ويتأثران بالقوى الأربعة: القوية والضعيفة والكهرومغناطيسيّة والجاذبية وهما أساسيين في تكوين جميع ذرات الكون؛ فهُما يكونان البروتونات والنيوترونات بشكل أساسي.

2. الكواركان الساحر والغريب.

3. الكواركان القعري والقمّي.

أما الليبتونات (Leptons) تتكون من ستّة جسيمات لكل واحدة منها عزم مغزلي بقيمة 0,5، وقد اكتُشِف الثلاثة الأولى منها وهي:

1. الإلكترون: وكلنا يعرفه، شحنته – 1.

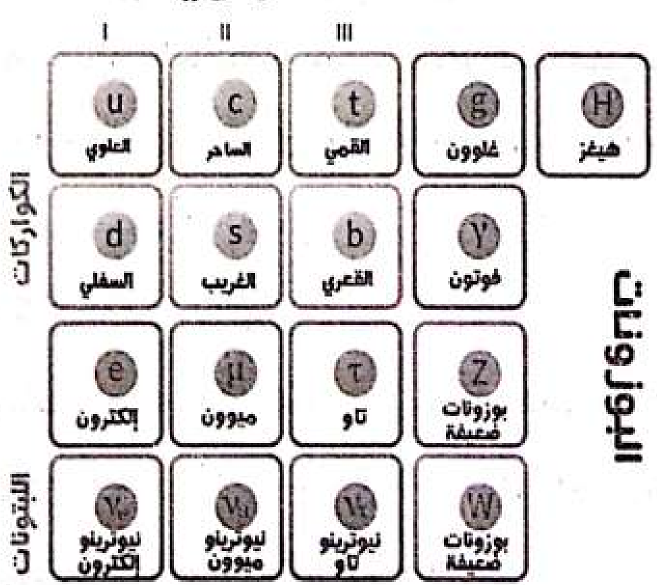
2. الميوون: وشحنته أيضًا – 1.

3. التاو: وشحنته كذلك – 1.

4. إلكترون نيوترينو: وهو «نكهة» غير مشحونة من الإلكترون، إلا أنه لم يُكتشف بعد.
5. ميوون نيوترينو: على غرار سابقه، هو نكهة افتراضية غير مشحونة من الميوون.
6. تاو نيوترينو: وحالها كحال من فوقها، لا تحتاج إلى شرحٍ.

وتُسمَّى الليبتونات المتعادلة الشحنة -الثلاثة الأخيرة- بالنيوترينوهات (Neutrinos)، وهي، كما ذكرنا مسبقًا، لا تحمل أيّ شحنة. وهي صغيرة للغاية مما يجعل أمر اكتشافها صعبًا جدًّا لأنها لا تتفاعل مع أيّ شيءٍ حولها! **وأنتم تقرؤون هذا الآن فإنَّ كل سنتيمتر مُربع من أجسامكم يخترقه 65 مليارَ نيوترينو كل ثانية مارقة دون أيّ عائق!**

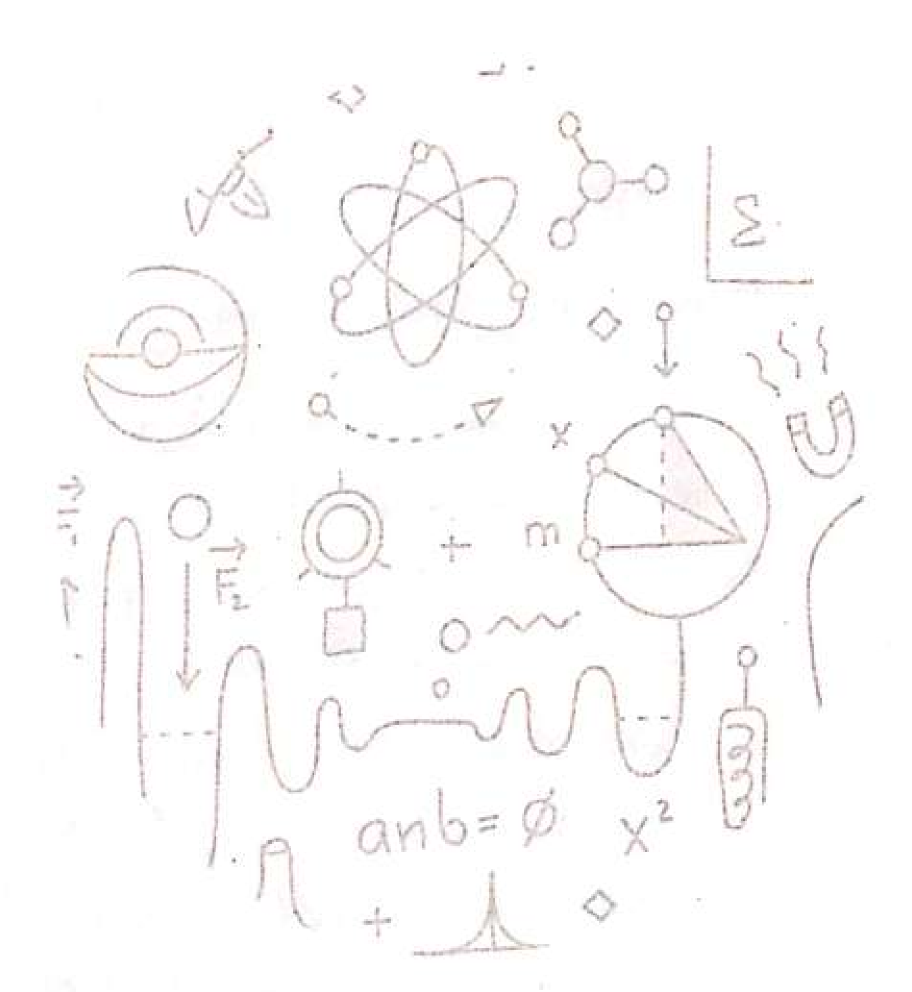
وهكذا كما يوجد لأصدقائنا الكيميائيين جدول دوري للعناصر، يوجد لدينا نحن الفيزيائيون جدول للجسيمات الأولية، يُدعَى بالنموذج القياسي للجسيمات الأولية.

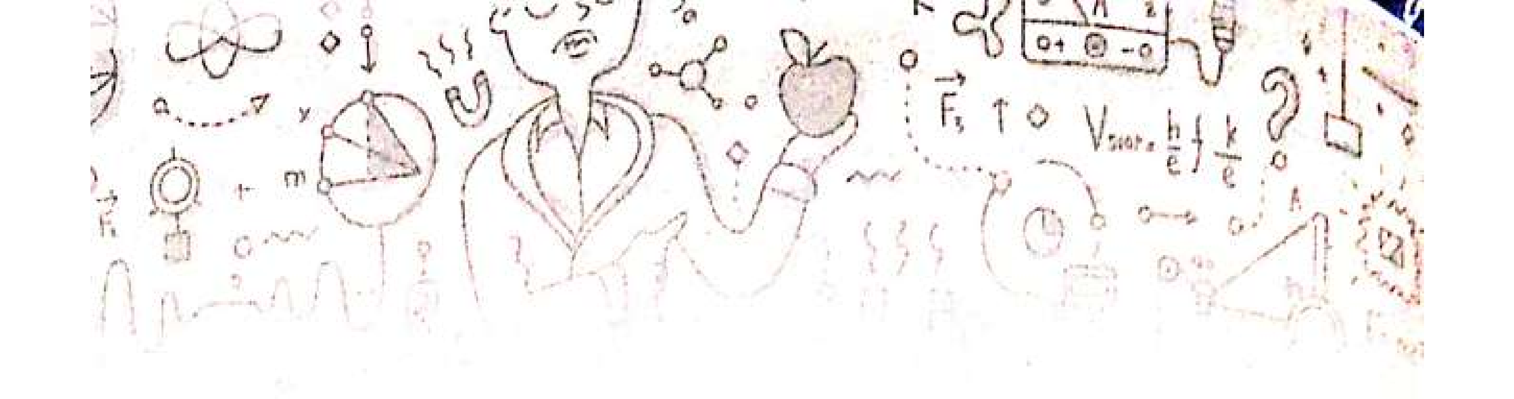


جدول يوضح جميع الجسيمات الأولية طبقًا للتصنيف القياسي وخواص كل منها.

المصادر:

- Introduction to Elementary Particles Textbook \ by David Griffiths and David J. Griffiths.
- wikipedia.org\ .لصورة النموذج القياسي للجسيمات الأولية
- A Brief History of Time Book \ by Stephen Hawking.





المراجِعون العلميّون للكتاب

اعتمد العديد من الأساتذة الجامعيين في الجامعات الأردنية من نخبة دكاترة الفيزياء، ومِمن لديهم الكثير من سنوات الخبرة في معلومات فصول الكتاب...

الفصول الستة الأولى

الأستاذ الدكتور هُمَام بشارة غَصِيب

أستاذ الفيزياء النظرية مواليد سنة 1948، حصل على البكالوريوس في الفيزياء (مرتبة الشرف) من جامعة مانشستر بإنكلترا عام 1971؛ وعلى دبلوم الدراسات المتقدمة في العلوم عام 1972؛ وعلى الدكتوراه في الفيزياء النظرية عـام 1974 من الجامعة نفسها.

تبوّأ المناصب الآتية في الجامعة الأردنية: رئيس قسم الفيزياء (1986/9 - 1988/10)؛ عميد البحث العلميّ (1990/1 - 1994/1)؛ وقد شَغَل عدة مناصب علمية أبرزها: مستشار سمو الأمير الحسن بن طلال، رئيس تحرير المجلة الثقافية (1989-1998)؛ أستاذ زائر (فولبرايت) في جامعة كورنل الأمريكية؛ وأستاذ زائر في مركز الفيزياء النظرية في إيطاليا؛ وعضو مؤسس في الجمعية الأردنية لتاريخ العلوم وشَغَل منصب رئيس للجمعية لمدة 7 سنوات؛ وعضو اللجنة الوطنية لتطوير المناهج؛ ولديه العديد من الأبحاث والجوائز العالمية في مجال الفيزياء النظرية بمختلف فروعها؛ وهو عضو فاعل

في مَجْمَع اللغة العربية الأردنيّ بإرادة ملكيّة منذ عام 1984م إلى الآن؛ وأشرف على عدد كبير من رسائل وأطروحات طلبة الدراسات العليا (ماجستير ودكتوراه)؛ ألَّف العديد من الكتب في مجال الفيزياء النظرية؛ وهو عضو زميل في أكاديمية العالم للعلوم TWAS؛ ولديه العديد من الأبحاث والإنجازات المُهمة غير المتاح لي لكتابتها جميعها للإيجاز بأبرز الإنجازات.

الفصل السابع لميكانيكا الكم

الدكتورة صفيّة حماشا

تخصص الفيزياء الذرية/ الجامعة الهاشميّة في الأردن، شغلت منصب رئيس قسم الفيزياء في الجامعة الهاشميّة سنة 2009 وأيضًا منذ سنة 2019 حتى الآن، وأيضًا مساعد عميد كلية العلوم في الجامعة الهاشميّة مُسبقًا، وحصلت بعدها على درجة الدكتوراه سنة 2004 من جامعة نيفادا/ رينو/ الولايات المتحدة الأمريكية، ولها العديد من الأبحاث في الفيزياء الذرية وحاصلة على جائزة فيلادلفيا لأفضل برمجية في الأردن عام 2010 بحزمة HTAC ، وهي مجموعة برمجيات للحسابات الذرية تعمل تحت نظام الويندوز.

الفصول الأربعة الأخيرة

الدكتور عبد الله برجس قصول

حصل على شهادة دكتور في الطب من كلية الطب – الجامعة الأردنية. وهو حاليًا مُهتم في البحث العلمي في مجال توظيف مبادئ فيزياء الكم في المجال الطبي ابتداءً من الخلايا والبيولوجيا الجزيئية

إلى علم الأمراض السريرية. نشر إلى الآن ثمانية أبحاث علمية منشورة في مجلات علمية محكمة. ارتكزت أبحاثه على توظيف ظاهرة النفق الكموميّ للأيونات على القنوات الفولتية في الغشاء الخلويّ.

أشكر حقًّا أ. د. هُمام على التدقيق العلميّ للفصول الستة الأولى من كتابي بكل دقة؛ فقد أفادتني ملاحظاتك إفادةً كبيرة، وأنا فخورة جدًّا بوجود اسم قامة علميّة مثلك لها بصمة في كتابي في قائمة المُدققين العلميين، تمنياتي لك بمزيدٍ من العُمرِ وأنْ تظلَّ منارةً للعلم كما عهدناك دائمًا.

ولا أنسى فضل الدكتورة صفية حماشا -بروفيسورة الفيزياء في الجامعة الهاشمية- فيما منحته لي من وقتها وعِلمها وشُرِفتُ بتدقيقها العلميّ لفصل علم ميكانيكا الكم من هذا الكتاب.

والشُّكر الجزيل للدكتور عبد الله قصول -طبيبٌ، تخرج في الجامعة الأردنية، ولديه أبحاث عالمية في مجال يجمع ميكانيكا الكمّ والطبّ- لتدقيقه الفصول الأخيرة من كتابي بما يتعلق بميكانيكا الكم، وعدم توانيه عند طلبي منه ذلك، تمنياتي لك بالتوفيق دومًا.

التاريخ: 12/ 10/ 2020



شكر خاص

الحمد لله الذي يسَّرَ لي أنْ أُنهيَ تأليفَ كتابي منذ بداية السنة الثالثة في الجامعة إلى مشروع ندوتي الآن.

بدايةً أُحبّ أنْ أشكُر والديَّ لتقديم الدعم المستمر لي دومًا في أثناء الدراسة في المدرسة والجامعة، وحبُّهما لي دومًا وتشجيعي على كل ما هو أفضل، وأشكرهما لأنهما مصدر فخري واعتزازي، ولأنهما أوَّل مَن يقف معي دومًا في كل خُطوة أخطُوها في حياتي، وأخبركما -أمي وأبي- بأنكما قُدوتي دومًا، وكل ما وصلت إليه الآن هو بفضلِكما بعدَ المولى عزَّ وجل.

كل حُبي ودعواتي لكما بالصحّة والعافية وأنْ تبقيَا سعداء دومًا، فأنتما مصدر شغفي وحُبي للحياة، وأملي بما هو أجمل في المستقبل.

أعدُكَ أبي بأنك ستبقى فخورًا بي كما تحبُّ، وسأحاول دومًا وبكل لحظة في حياتي أنْ أُصبح عالِمة فيزياء متميزة، بإذن الله.

وأَعدُكِ أُمي بأنني سأكون تلكَ الفتاة التي ناضلتْ من أجل حُلمها لتصل إلى كل ما تريد كما ناضلتِ أنتِ وحققتِ كلَّ ما تمنيتِ.

وأشكُر إخوتي على حُبهم ومساعدتهم لي دومًا في كل ما أحتاجه، وكلمات التشجيع المستمرة منهم لأحقق ما أريد، وأخص بالذِّكر أخي وأختي اللذيْن يكبرانني سنًّا «عُلا وأَنس» على تشجيعهما المستمر لي دومًا لمواصلة تحقيق أحلامي ونُصحهما الدائم لي، ولوقوفهما دائمًا

بجانبي في كل شيءٍ أحتاج إليه، فأنا حقًّا محظوظة بامتلاكي إخوةً مثلكما.

وأيضًا جميع صديقاتي اللواتي كنَّ دائمًا عونًا لي في كل أوقاتي ولتشجيعهن دائمًا لي على المتابعة والتميُّز.

ولن أنسى فضل مكتبة عبد الحميد شومان، في توفير بيئة مناسبة لكل مَن لديه طموح وإبداعات، فقد كانت ملجئي بعد انتهائي من دوامي في الجامعة في السنة الثالثة، وخلال العُطلة لأستَلهِمَ منها الكثير من المعلومات وبسبب البيئة المناسبة التي مكّنتني على قراءة الكثير من الكتب والبحوث العلميّة ودراسة الكورسات فيها لأؤلّفَ وأكتب كتابي خلال وجودي فيها.

وأوجّه شُكري إلى كل مَن سَاهمَ معي مِن المُتابعين لي على صفحة الفيزياء المسلية على فيسبوك في اختيار اسم كتابي الذي بين يديكم.

التاريخ: 2/ 11/ 2017

ملاحظة:

كتبتُ الكتابَ خلال البكالوريوس في جامعتي لتقديمه في ندوة التخرّج الخاصة بي، فأنا أحب مجال الفيزياء النظرية حُبًّا كبيرًا، ودرستُ وقرأتُ الكثير من الكتب والبحوث العلميّة والمحاضرات والكورسات الفيزيائية للكثير من العلماء ودكاترة الفيزياء، ولديَّ شغف في دراسة المعادلات الفيزيائية وإعطاء الخلاصة منها بأسلوب علميّ ومشوّق في الوقت نفسه، لذلك درَّستُ الكثيرَ من المحاضرات في مجال الفيزياء النظرية والفلكية في أماكن علميّة مرموقة في الجمعية الفلكية الأردنية وبعِدة جامعات أردنية وأماكن علمية، وألّفتُ أول كتابٍ لي في الفيزياء النظريّة الحديثة الذي يلخّص أبرز نظريات الفيزياء الحديثة بطريقة

مشوّقة للقارئ بمختلف الأعمار، لكن حدَّثت كتابي مرات عديدة بالطبع بعد المراجعة العلميّة من عدّة شخصيات مرموقة في الفيزياء ومختصّة في مجالات الكتاب المختلفة ليكون بأفضل صورة علميّة، وأيضًا من المعروف أنّ العلوم دائمًا في تجدّد وخصوصًا علم الفيزياء؛ فهنالك دائمًا اكتشافات جديدة لم تكُن موجودة وقت كتابتي الكتاب حدّثتُها وصولًا إلى جائزة نوبل لسنة 2020.

دُقِّقَ الكتابُ علميًّا من قِبَل ثلاثة مِن الدكاترة المتخصصين في الفيزياء بفروعٍ مختلفة، ومحررين متخصصين باللغة العربية، ولكن «جلّ مَن لا يسهو»، فلا يوجد هناك شخصٌ كامل، أو كتابٌ كامل، عدا القرآن الكريم، أفضل الكتب وأجلّهم.

للتواصل معي على حسابي الخاص على فيسبوك:
ضُحى صالح، أو على رسائل صفحاتي الخاصة على فيسبوك: الفيزياء المسلية، الفيزياء حياتنا.

الفهرس



هل تمنيت يومًا أن تسافر عبر الزمن إلى المستقبل لترى كيف سيتقدم العالم، أو أن تسافر عبر الزمن للماضي لتغيّر أخطاءً قد قمت بها مسبقًا، أو لترى العصور القديمة ببساطة! هل سمعت يومًا بالثقوب السوداء؟ أو سألت نفسك مسبقًا كيف تكوّنت؟ أو لماذا لقّبها العلماء بوحوش الفضاء؟ وماذا يحدث لمن يدخلها أو يقترب منها حتى؟ وهل حقًا هنالك نظريات ومعادلات تقول إن السفر عبر الزمن، أو الذهاب إلى أكوان أخرى عبر الثقوب السوداء قد يكون ممكنًا! وهل هنالك أنواع لآلات السفر عبر الزمن؟ وما شكلها، وما مميزاتها؟ وكيف استنتجها العلماء أصلًا؟

هل تمنيت يومًا أن تختفي أنت فجأة! أو أن توجد في مكانين في الوقت نفسه؟ أو أن تسافر بشكل ما من دولتك التي تقطن فيها إلى أمريكا مثلًا خلال ثوانٍ معدودة! أو أن تخترق الحائط للجهة الأخرى دون أن تؤذى، أو أن يثقب الحائط حتى! قد تعتقد أن هذه الأمور وغيرها مستحيلة وتعتبر من الخرافات، ولكن هنالك نظرية تدعى بميكانيكا الكم تدرس هذه الأمور، وقد وجدت تطبيقات عليها على مستوى الذرات وهنالك محاولات للعلماء لتطبيقها على مستوى أكبر.









aseeralkotb.com
contact@aseeralkotb.com
AseerAlkotb
AseerAlkotb
AseerAlkotb